

**META-ANALYYSI TUNNUTUKSEN VAIKUTUKSESTA
LYPSYLEHMIEN MAITOTUOTOKSEEN, REHUN SYÖNTIIN JA
VERIPARAMETREIHIN**

Sini Kuiri

Maisterintutkielma

Helsingin yliopisto

Maataloustieteiden osasto

Kotieläinten ravitsemustiede

Huhtikuu 2019

Tiedekunta Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Osasto Maataloustieteiden osasto
Tekijä Sini Marika Kuiri		
Työn nimi Meta-analyysi tunnutuksen vaikutuksesta lypsylehmien maitotuotokseen, rehun syöntiin ja veriparametreihin		
Oppiaine Kotieläinten ravitsemustiede		
Työn laji Maisterintutkielma	Aika Huhtikuu 2019	Sivumäärä 42
<p>Tiivistelmä</p> <p>Siirtyminen ummessaolokaudelta tuotoskaudelle on lypsylehmälle haastava ajanjakso, jolloin tapahtuu monia aineenvaihdunnallisia muutoksia. Tunnutusruokinnassa dieetin väkirehun osuutta lisätään muutamia viikkoja ennen poikimista, jotta lehmä ja sen pötsi sopeutuisivat poikimisen jälkeiseen, runsaasti energiaa sisältävään ruokintaan. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tunnutusruokinnan vaikutusta tuotoskauden alun maitotuotokseen, maidon koostumukseen, kuiva-aineen syöntiin ja eläimen energiatasetta kuvaaviin veriparametreihin hyödyntäen aikaisemmin julkaistuja tieteellisiä tutkimuksia.</p> <p>Meta-analyysin aineistona käytettiin 20 vertaisarvioitua tutkimusta, joissa ummessaolokauden ruokinnan solunsisällyshiilihydraattien (SSHH) pitoisuutta muutettiin aikaisintaan 30 päivää ennen odotettua poikimista. Tunnutusdieetin SSHH- ja NDF-pitoisuuksien yhteyttä maitotuotokseen, maidon koostumukseen, kuiva-aineen syöntiin sekä veren NEFA (vapaa rasvahapot)- ja BHBA (β-hydroksivoihappo)-pitoisuuksiin tarkasteltiin käyttämällä regressioanalyysiä sekä lineaarista ja toisen asteen sekamallia. Aineiston luokittelevina tekijöinä käytettiin tunnutusdieetin pääasiallisen karkearehun tyyppiä (maissisäilörehu, nurmisäilörehu) ja kontrollidieetin SSHH-pitoisuutta (alle 250 g/kg ka, yli 250 g/kg ka). Väkirehun lisäämisen vaikutusta verrattuna pelkästään nurmisäilörehua sisältävään tunnutuskauden ruokintaan tutkittiin Mix 2.0 PRO ohjelman Random-mallilla.</p> <p>Tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuden lisääminen ja NDF-pitoisuuden vähentäminen pienensi veren NEFA-pitoisuutta ennen poikimista sekä suurensi hieman maidon valkuaispitoisuutta ja valkuaistuotosta. NDF-pitoisuuden lisääminen pienensi suuntaa antavasti EKM- ja valkuaistuotoksia. Toisen asteen mallissa SSHH-pitoisuuden vaikutus poikimisen jälkeiseen kuiva-aineen syöntiin oli käyräviivainen ja vaihteli dieetin SSHH-pitoisuuden mukaan. Dieetin SSHH-pitoisuuden ja karkearehutyypin välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhdysvaikutuksia maitotuotokseen, maidon koostumukseen, kuiva-aineen syöntiin tai veriparametreihin. Kun tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuden lähtötaso oli vähintään 250 g/kg ka, SSHH-pitoisuuden lisääminen paransi hieman maitotuotosta ja poikimisen jälkeistä kuiva-aineen syöntiä. Väkirehun lisääminen pelkästään nurmisäilörehua sisältäneeseen tunnutuskauden dieettiin suurensi maidon rasvapitoisuutta ja rasvatuotosta.</p> <p>Tunnutusruokinnan vaikutukset maitotuotokseen, maidon koostumukseen ja kuiva-aineen syöntiin olivat pieniä, mutta veren NEFA-pitoisuuden pienentymisellä ennen poikimista voi olla positiivisia vaikutuksia lehmän terveyteen.</p>		
Avainsanat Siirtymäkausi, tunnutus, solunsisällyshiilihydraatit, NDF, lypsylehmä		
Säilytyspaikka Maataloustieteiden osasto ja Viikin kampuskirjasto		
Muita tietoja Työtä ohjasi yliopistonlehtori Tuomo Kokkonen		

Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Department Department of Agricultural Sciences
Author Sini Marika Kuiri		
Title Meta-analysis of the impact of close-up feeding on milk production, feed intake, and blood parameters in dairy cows		
Subject Animal nutrition		
Level Master's thesis	Month and year April 2019	Number of pages 42
<p>Abstract</p> <p>Transition from pregnancy to milk production is challenging period for a dairy cow because of many metabolic changes occurring at that time. In close-up feeding, concentrate proportion of the diet is increased few weeks before the expected calving date to adapt cow and it's rumen to the high-energy diet of postpartum period. The aim of this thesis was to study the impact of close-up feeding on milk production, milk composition, dry-matter intake (DMI) and blood parameters describing energy balance by using previously published scientific studies.</p> <p>The experimental data of this meta-analysis consisted of 20 peer-reviewed publications in which non-fibre carbohydrate (NFC) content of the dry period diet was altered during the last 30 days before the expected calving date. Regression analysis with linear and quadratic mixed models were used to investigate the impact of dietary NFC and NDF content in close-up feeding on milk production, milk composition, DMI, and blood NEFA (non-esterified fatty acids) and BHBA (β-hydroxybutyrate) concentrations. The main forage (corn silage or grass silage) and the NFC content (under 250 g/kg DM or over 250 g/kg DM) of the close-up diet were used as classifying factors of the data. Random-model of Mix 2.0 PRO was used to study the effects of concentrate supplementation compared to sole grass silage diets.</p> <p>Increased NFC content and decreased NDF content of close-up diet decreased blood NEFA concentration prepartum and slightly increased milk protein content and protein yield. Increased NDF content of the close-up diet tended to reduce energy corrected milk yield (ECM) and milk protein yield. Quadratic model showed that the impact of NFC content on postpartum DMI was curvilinear and varied depending on the NFC content of close-up diet. There were no interactions between NFC content and the main forage of close-up diet on milk production, milk composition, DMI or blood parameters. When close-up diet's NFC content was at least 250 g/kg DM, increased NFC content slightly increased milk yield and DMI postpartum. Concentrate supplementation increased milk fat concentration and fat yield compared to sole grass silage feeding.</p> <p>The impact of close-up feeding on milk production, milk composition and DMI was small. However, decreased blood NEFA concentration prepartum may have positive effects on dairy cow's health.</p>		
Keywords Transition period, close-up feeding, non-fibre carbohydrates, NFC, NDF, dairy cow		
Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library		
Further information Supervisor: University lecturer Tuomo Kokkonen		

SISÄLLYS

LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	6
1.1 Ravintoaineiden tarve ja kuiva-aineen syönti	6
1.2 Energia-aineenvaihdunnan muutokset	8
1.3 Ketoosi	10
1.4 Tunnustusruokinnan vaikutus pötsin toimintaan	11
2 TUTKIMUKSEN TAVOITE	12
3 AINEISTO JA MENETELMÄT	13
3.1 Aineiston kerääminen ja täydentäminen	13
3.2 Aineiston luokittelu	16
3.3 Tilastollinen analyysi	17
4 TULOKSET	18
4.1 Tunnustusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden vaikutus	18
4.2 Tunnustusdieetin NDF-pitoisuuden vaikutus	20
4.3 Tunnustusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja dieetin karkearehun yhdysvaikutus	21
4.4 Tunnustusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja -tason yhdysvaikutukset	21
4.5 Alakokeiden sisäiset muutokset solunsisällyshiilihydraattipitoisuudessa, EKM-tuotoksessa ja kuiva-aineen syönnissä kontrollidieettiin verrattuna	22
4.6 Väkirehun lisääminen pelkästään karkearehua sisältävään tunnustusdieettiin	23
5 TULOSTEN TARKASTELU	24
5.1 Tunnustusdieetin solunsisällyshiilihydraatti- ja NDF-pitoisuudet	24
5.1.1 Kuiva-aineen syönti poikimisen jälkeen	25
5.1.2 Maito- ja EKM-tuotokset	27
5.1.3 Maidon rasva-, valkuais- ja laktoosipitoisuudet	28
5.1.4 Veren NEFA- ja BHBA-pitoisuudet	30
5.2 Tunnustusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja pääasiallisen karkearehun yhdysvaikutus	31
5.3 Tunnustusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja -tason yhdysvaikutukset	32
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	33
7 KIITOKSET	34
8 LÄHTEET	34

LYHENTEET

BHBA	β -hydroksivoihappo (β -hydroxybutyrate)
NDF	neutraalidetergenttikuitu (neutral detergent fibre)
NEFA	vapaat rasvahapot (non-esterified fatty acids)
SSHH	solunsisällyshiilihydraatti
VFA	haihtuvat rasvahapot (volatile fatty acids)

1 JOHDANTO

Siirtyminen ummessaolokaudelta tuotoskaudelle on lypsylehmälle aineenvaihdunnallisesti kaikkein haastavin ajanjakso (Grummer 1995). Tämä niin sanottu siirtymäkausi (transition period) määritellään tavallisesti ajanjaksoksi kolme viikkoa ennen ja jälkeen poikimisen (Grummer 1995). Siirtymäkauden aikana tapahtuu monia fysiologisia, aineenvaihdunnallisia ja immunologisia muutoksia, jotka auttavat lehmää sopeutumaan poikimisen ja alkavan maidontuotannon asettamiin vaatimuksiin (Grummer 1995, Sordillo ja Raphael 2013). Nämä voimakkaat muutokset vaikuttavat kudosten aineenvaihduntaan ja ravintoaineiden hyväksikäyttöön (Grummer 1995). Suurin osa lypsylehmän terveysongelmista esiintyy tuotoskauden alussa, kun lehmällä on vaikeuksia sopeutua maidontuotantoon (Ingvarsen 2006). Tämä johtaa fysiologiseen epätasapainoon ja tilanteeseen, jossa elimistön säätelymekanismit eivät toimi optimaalisesti, jolloin riski ruuansulatus- ja aineenvaihduntasairauksille sekä tulehduksille lisääntyy (Ingvarsen 2006). Siirtymäkauden aineenvaihduntasairaudet ja terveysongelmat voivat laskea tuotoshuippua, pienentää lypsykauden kokonaistuotosta, heikentää hedelmällisyyttä ja aiheuttaa taloudellisia menetyksiä (Drackley 1999).

Ummessaolokauden alussa dieetti on kuitupitoinen ja sisältää niukasti energiaa, jotta vältetään lehmän lihomista ummessaolokauden aikana (Grummer ym. 2004). Tunnuksruokinnalla tarkoitetaan dieetin väkirehun osuuden lisäämistä muutamia viikkoja ennen poikimista (Broster 1971, ref. Kokkonen ym. 2004, Shaver 1997). Tarkoituksena on asteittain sopeuttaa lehmää ja sen pötsiä poikimisen jälkeiseen, runsaasti energiaa sisältävään ruokintaan, jotta kuiva-aineen syönti lisääntyisi ja vältettäisiin terveysongelmat (Broster 1971, ref. Kokkonen ym. 2004, Shaver 1997).

1.1 Ravintoaineiden tarve ja kuiva-aineen syönti

Siirtymäkaudella lehmän ravintoaineiden tarve lisääntyy sikiön kasvun, mammogeneesin ja alkavan maidontuotannon vuoksi (Bell ym. 1995, Grummer 1995, Ingvarsen ja Andersen 2000). Tiineyden viimeisen kuukauden aikana energiantarve ylläpidon ja tii-

neyden tarpeisiin lisääntyy 23 prosenttia (Moe ja Tyrrel 1972). Kohdun ja sikiön kasvuikäyrä on eksponentiaalinen kuudennen tiineyskuukauden jälkeen (Bell ym. 1995). Sikiön kehitykseen tarvitaan erityisesti glukoosia ja aminohappoja. Glukoosin osuus sikiön energiansaannista on 35-40 %, aminohappojen 55 % ja loput 5-10 % energiasta tuotetaan etikkahaposta (Bell ja Ehrhardt 2000 s. 276). Maidon synteesin alkaminen ja poikimisen jälkeen nopeasti lisääntyvä maidontuotanto lisäävät glukoosin tarvetta laktoosisynteesiin (Drackley ym. 2005). Neljä päivää poikimisen jälkeen ylläpitotason ylittävä maitorauhasen glukoosin, aminohappojen ja rasvahappojen tarve on 2,7-, 4,5- ja 2,0-kertainen tiineen kohdun tarpeeseen verrattuna (Bell 1995). Maitorauhasen energiantarpeen on arvioitu olevan kolme kertaa tiinettä kohtua suurempi (Bell 1995).

Vaikka lehmän ravintoaineiden tarve lisääntyy siirtymäkaudella, kuiva-aineen syönti kuitenkin vähenee ennen poikimista (Grummer 1995) ja on pienimmillään poikimisen aikaan (Ingvarsen ja Andersen 2000). Kuiva-aineen syönnin asteittainen vähentyminen alkaa kolme viikkoa ennen poikimista, ja suurin vähennys tapahtuu tiineyden viimeisellä viikolla (Grummer 1995). Ummessaolokauden alkuun verrattuna syönti vähenee Bellin (1995) mukaan 10-30 % viimeisen kolmen viikon aikana ennen poikimista. Marquardt ym. (1977) havaitsivat, että kaksi viikkoa ennen poikimista ensikoiden ja kaksi kertaa poikineiden lehmien syönti väheni 25 % ja tätä vanhemmilla lehmillä jopa 52 %. Grummerin ym. (2004) mukaan ennen poikimista hiehot syövät vähemmän kuiva-ainekiloja suhteessa elopainoonsa ja niiden kuiva-aineen syönti heikkenee vähemmän ja hitaammin ennen poikimista kuin useamman kerran poikineilla lehmillä. Myös dieetin koostumus ja ravintoainepitoisuus voivat vaikuttaa poikimista edeltävään kuiva-aineen syöntiin (Grummer 1995). Agenäs ym. (2003) ja Dewhurstin ym. (2009) tutkimuksiin viitaten Kokkosen ym. (2018) mukaan kuiva-aineen syönnin heikentyminen on nurmisäilörehuun perustuvilla ruokinnoilla vähäisempää kuin maissisäilörehuun perustuvilla ruokinnoilla. Kunzin ym. (1985) mukaan kuiva-aineen syönnin vähenemisen suuruus ja kesto vaihtelevat, mutta se vähenee voimakkaammin ad libitum- kuin rajoitetulla ruokinnalla. Kuiva-aineen syönnin heikentymisen viimeisten viikkojen aikana ennen poikimista on havaittu olevan vähäisempää, kun ruokintaa on rajoitettu joko seosrehun tai nurmisäilörehun määrän kautta (Agenäs ym. 2003, Salin ym. 2018) tai dieetin ravintoainekoostumuksen kautta (Rabelo ym. 2003).

Syönnin heikentymisen arvioidaan johtuvan dieetin koostumuksen lisäksi myös siirtymäkaudella tapahtuvista hormonitoiminnan muutoksista, elimistön rasvavarastojen mobilisoinnin alkamisesta ja mahdollisesti myös kasvavan sikiön aiheuttamasta pötsin tilavuuden pienenemisestä (Ingvarsen ja Andersen 2000). Lisäksi kuiva-aineen syöntiä voivat heikentää kliiniset tai piilevät tulehdukset (Ingvarsen ja Andersen 2000). Vaikka kuiva-aineen syönti väheneekin, dieetin ravintoainepitoisuutta lisäämällä voidaan ravintoaineiden saanti pitää samana (Drackley ym. 2005).

1.2 Energia-aineenvaihdunnan muutokset

Lypsylehmällä glukoosia imeytyy suoraan ruuansulatuskanavasta hyvin vähän, sillä suurin osa rehujen hiilihydraateista fermentoidaan pötsissä haihtuviksi rasvahapoiksi (volatile fatty acids, VFA). Tämän vuoksi maksan glukoneogeneesillä on tärkeä rooli lypsylehmän glukoosintarpeen tyydyttämisessä (Drackley ym. 2005). Poikimisen aikaan maitorauhasen glukoosintarve lisääntyy nopeasti ja lehmällä on puutetta glukoosin esiaineista (Overton ja Waldron 2004). Propionihappo on tärkein glukoosin esiaine maksassa tapahtuvassa glukoneogeneesissä, mutta glukoosia muodostetaan myös L-maitohaposta, glyserolista, valerianahaposta, isovoihaposta, alaniinista ja muista aminohapoista (Reynolds ym. 2003, Larsen ja Kristensen 2009). Aivan tuotoskauden alussa maksan glukoneogeneesissä L-maitohapon, glyserolin ja alaniinin osuus suhteessa propionihapon käyttöön lisääntyy hieman myöhempään tuotoskauteen verrattuna (Aschenbach ym. 2010). Eksogeenisten glukoosin esiasteiden määrää voidaan lisätä lisäämällä rehun syöntiä, lisäämällä pötsin propionihapon tuotantoa tai antamalla lehmälle glukoosin esiaineina toimivia lisärehuja kuten propyleeniglykolia tai glyserolia (Overton ja Waldron 2004).

Elimistön rasvavarastojen mobilisointi on yksi tärkeimmistä rasva-aineenvaihdunnan keinoista sopeutua maidontuotantoon ja tuotoskauden alun negatiiviseen energiataseeseen (Overton ja Waldron 2004). Veren insuliinipitoisuuden vähentyminen tiineyden viimeisten viikkojen aikana on osa energia-aineenvaihdunnan sopeutumista tulevaan tuotoskauteen ja mahdollistaa lehmän kudosvarastojen mobilisoinnin (Kokkonen ym. 2004). Kasvuhormonin suhde insuliiniin veressä kasvaa poikimisen jälkeen, mikä stimuloi pitkäketjuisten rasvahappojen mobilisointia rasvakudoksesta maidontuotantoa varten

(Bell 1995, Ingvarlsen 2006). Tuotoskauden alussa rasvakudoksen lipogeneesi vähenee ja sen herkkyys lipolyttisille signaaleille (adrenaliini ja noradrenaliini) lisääntyy, eli lehmän rasvakudoksen toiminta suuntautuu enemmän rasvahappojen mobilisointiin kuin niiden varastointiin (McNamara 1991).

Tiineyden lopussa rasva- ja lihaskudoksissa esiintyy insuliiniresistenssiä, joka voi jatkua myös tuotoskauden ensimmäisten 2-4 viikon ajan (Bell 1995). Insuliiniresistenssi edistää rasva- ja aminohappojen mobilisointia näistä kudoksista ja säästää glukoosia maitorauhasen käyttöön (Bell 1995). Rasvakudoksen mobilisoiminen lisää veren NEFA- ja glyserolipitoisuutta sekä näiden aineiden käyttöä aineenvaihdunnassa (Ingvarlsen ja Andersen 2000). Rasvakudoksesta vapautuneet rasvahapot kulkeutuvat kohdekudoksiin verenkierron mukana (Overton ja Waldron 2004). Tuotoskauden alussa vapaat rasvahapot ovat lehmän tärkein energianlähde (Pullen ym. 1989) ja tuotoskauden ensimmäisinä päivinä maidon rasvahapoista yli 40 prosenttia on peräisin NEFA:sta (Bell 1995). Luurankolihakset käyttävät energianlähteenään hieman vapaita rasvahappoja, sillä se vähentää lihasten riippuvuutta glukoosista energianlähteenä tuotoskauden alussa (Bell 1995).

Maksa ottaa käyttöönsä vapaita rasvahappoja suhteessa niiden pitoisuuteen veressä, tyypillisesti noin 15-20 % veressä kiertävistä vapaista rasvahapoista (Reynolds ym. 2003, Drackley ja Andersen 2006). Maksassa NEFA:t voidaan hapettaa täydellisesti energiaksi maksasolujen käyttöön, hapettaa osittain ketoaineiksi (asetoni, β -hydroksivoihappo (BHBA), asetoetikkahappo) muiden kudosten käyttöön tai käyttää uudelleen triglyseridien synteesiin (Drackley ja Andersen 2006). Maksakudoksen kapasiteetin esteröidä NEFA:a triglyserideiksi on havaittu lisääntyvän poikimisen aikaan (Grum ym. 1996). Muodostetut triglyseridit voidaan siirtää verenkierron kautta lipoproteiineina muihin kudoksiin kuten rasvakudokseen ja maitorauhaseen tai niitä voidaan varastoida maksaan (Drackley ja Andersen 2006). Märehtijöiden kapasiteetti syntetisoida VLDL-lipoproteiineja (very low density lipoproteins) on luontaisesti pieni, mikä heikentää triglyseridien erittämistä pois maksasta (Kleppe ym. 1988, Pullen ym. 1989). Mikäli maksan lipidien otto on suurempaa kuin niiden hapetus ja poiskuljetus, maksa rasvoittuu (Bobe ym. 2004). Voimistunut rasvakudosten mobilisointi lisää maksassa hapetettavien rasvahappojen määrää ja lähettää kylläisyysignaalia aivoille, mikä voi osaltaan selittää kuiva-aiheen syönnin heikentymistä siirtymäkaudella (Allen ym. 2009).

Veren NEFA-pitoisuus lisääntyy, kun eläimen kuiva-aineen syönti ei vastaa energiantarvetta, eli veren NEFA-pitoisuus korreloi negatiivisesti kuiva-aineen syönnin kanssa (Bell 1995, Ingvarsen ja Andersen 2000). Veren NEFA-pitoisuus kuvastaa siten myös lehmän energiatasetta: kun energiatase on negatiivisempi, elimistön rasvavarastoja mobilisoidaan enemmän ja veren NEFA-pitoisuus kasvaa (Pullen ym. 1989, Holcomb ym. 2001). Ennen poikimista koholla oleva veren NEFA-pitoisuus on riskitekijä jälkeisten jäämiselle ja kohtutulehdukselle (Chapinal ym. 2011), juoksutusmahan siirtymälle (LeBlanc ym. 2005, Chapinal ym. 2011), hedelmällisyysongelmille ja kliiniselle ketoosille (Ospina ym. 2010) sekä eläimen poistolle tuotoskauden alussa (Roberts ym. 2012). Tuotoskauden alussa lehmillä, joiden veren NEFA-pitoisuudet viittaavat vakavaan negatiiviseen energiataseeseen, on suurempi riski sairastua jälkeisten jäämiseen, kohtutulehdukseen, kliiniseen ketoosiin tai juoksutusmahan siirtymään (Ingvarsen 2006, Ospina ym. 2010). Negatiivinen energiatase voi heikentää myös lehmän hedelmällisyyttä (Friggens 2003, Ingvarsen 2006).

1.3 Ketoosi

Ketoosi on lehmän negatiivisesta energiataseesta johtuva aineenvaihdunnallinen häiriö, jolle on tyypillistä ketoaineiden (BHBA, asetoni ja asetoetikkahappo) lisääntynyt pitoisuus veressä (Grummer 1995, Duffield ym. 1998, Ingvarsen 2006) sekä muissa elimistön kudoksissa ja nesteissä (Baird 1982). Veren glukoosipitoisuus on normaali tai normaalia pienempi (Grummer 1995, Duffield ym. 1998, Ingvarsen 2006). Ketoosi voi esiintyä kliinisenä tai subkliinisenä eli piilevänä (Ingvarsen 2006).

Piilevä ketoosi voidaan Anderssonin (1988) mukaan määritellä tilaksi, jossa verenkierron epänormaaleja määriä ketoaineita, mutta sairauden kliiniset oireet puuttuvat. Diagnosoinnissa käytetään BHBA:a, sillä se pysyy veressä stabiilimpana kuin asetoni ja asetoetikkahappo (Oetzel 2004). Piilevään ketoosiin viittaavan veren BHBA-pitoisuuden raja-arvoksi on esitetty 1,2-1,4 mmol/l (Nielen ym. 1994, McArt ym. 2011, Suthar ym. 2013), kun taas kliinisen ketoosin raja-arvona pidetään verestä mitattuna 3,0 mmol/l pitoisuutta (McArt ym. 2011, McArt ym. 2012). Piilevä ketoosi voi aiheuttaa suuria taloudellisia menetyksiä vähentyneen maitotuotoksen ja heikentyneen hedelmällisyyden

kautta, minkä lisäksi se lisää eläimen riskiä sairastua muihin sairauksiin kuten juoksutusmahan siirtymään ja kliiniseen ketoosiin (Andersson 1988, Opsomer 2015). Tilatasolla yhden lehmän piilevän ketoosin keskimääräiseksi kustannukseksi on laskettu 257 euroa (Raboisson ym. 2015).

1.4 Tunnutusruokinnan vaikutus pötsin toimintaan

Dirksen ym. (1985) havaitsivat, että pötsipapillien poikkileikkauspinta-ala pieneni umpi-kaudella, kun lehmät olivat vähäenergisellä dieetillä. Pelkästään heikosti sulavia karkearehuja sisältävään ruokintaan verrattuna viljaa sisältävä ruokinta lisäsi pötsipapillien pituutta. Ingvartsenin (2006) mukaan Liebich ym. (1982) ja Mayer ym. (1986) havaitsivat, että korkea väkirehutaso tiineyden viimeisen kahden viikon aikana stimuloi pötsiepiteelin kehitystä ja lisäsi sen pinta-alaa tuotoskauden ensimmäisen 1-2 kuukauden aikana. Pötsipapillien täysi kehitys vie 4-6 viikkoa (Dirksen ym. 1985) tai 6-7 viikkoa (Mayer ym. 1986, ref. Ingvartsen 2006), joten solunsisällyshiilihydraatteja on Dirksenin ym. (1985) mukaan lisättävä ruokintaan ennen poikimista, jotta siitä olisi hyötyä pötsin toiminnalle poikimisen jälkeen.

Myöhemmissä tutkimuksissa on havaittu, että jopa pieni väkirehumäärä ummessaolokaudella pystyy ylläpitämään pötsiepiteelin rakennetta (Olsson ym. 1997). Andersenin ym. (1999) tutkimuksessa ummessaolevien lehmien väkirehuruokinnalla ei havaittu makroskooppisia tai histologisia vaikutuksia pötsiepiteeliin. Kokeessa oli Dirksenin ym. (1985) tutkimusta tyypillisempi ummessaolevien lehmien ruokinta. Positiivisia vaikutuksia pötsiepiteeliin on saavutettu vasta, kun väkirehun suhde karkearehuun on suuri (3:1) ja energiansaanti on suurta (Andersen ym. 1999).

Pötsiepiteelin kasvua stimuloi eniten pötsinesteen haihtuvien rasvahappojen pitoisuus, erityisesti voi- ja propionihappojen pitoisuuden lisääntyminen (Flatt ym. 1958, Kauffold ym. 1977, ref. Andersen ym. 1999). Pötsikäymisessä muodostuvien haihtuvien rasvahappojen imeytymiskapasiteettia parantamalla voidaan vähentää niiden kumuloitumista pötsiin ja pienentää pötsin pH:n laskua poikimisen jälkeen, kun dieetissä on runsaasti väkirehua (Dirksen ym. 1985, Mayer ym. 1986, ref. Ingvartsen 2006, Drackley ym. 2005). Tämä voi lisätä lehmän syöntikapasiteettia tuotoskauden alussa (Dirksen ym. 1985, Mayer ym. 1986, ref. Ingvartsen 2006).

Derakhshani ym. (2017) osoittivat tutkimuksessaan, että vaihtelut syönnissä ja rehun kemiallisessa koostumuksessa olivat merkittävimpiä tekijöitä, jotka vaikuttivat pötsimikrobiston koostumukseen ennen poikimista ja poikimisen jälkeen. Solunsisällyshiilihydraattien lisääminen ummessaolevan lehmän ruokintaan ennen poikimista voi sopeuttaa pötsimikrobistoa poikimisen jälkeiseen, ummessaolokautta enemmän solunsisällyshiilihydraatteja sisältävään ruokintaan (Rabelo ym. 2003, Overton ja Waldron 2004). Jouany (2006) mukaan pötsin keskimääräinen pH saattaa pysyä tasaisempuna, kun lehmää totutetaan asteittain runsaasti viljaa sisältävään ruokintaan kolmen viikon ajan ennen poikimista.

Kun lypsylehmän dieetti sisältää runsaasti tärkkelystä, pötsissä voi muodostua enemmän maitohappoa kuin mitä mikrobit pystyvät muuntamaan propionihapoksi, mikä voi johtaa maitohapon kertymiseen pötsiin (Jouany 2006). Maitohapolla on merkittävä rooli hapanpötsin muodostumisessa, sillä sen pK_a (happovakio) on matalampi kuin useimpien haihtuvien rasvahappojen. Pötsin matala pH suosii tärkkelystä käyttävien ja maitohappoa tuottavien bakteerien kuten *Streptococcus bovis* ja *Lactobacilli* spp. kasvua sellulolyttisten bakteerien ja alkueläinten kustannuksella. Tämän seurauksena pötsimikrobiston monimuotoisuus vähenee, maitohappoa muodostuu enemmän ja selluloosan sulatus heikkenee. Pötsin matala pH myös muuttaa pötsin osmoottista painetta sekä voi vahingoittaa pötsipapilleja ja pötsin seinämää (Jouany 2006).

2 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tunnusruokinnan vaikutusta tuotoskauden alun maitotuotokseen, maidon koostumukseen, kuiva-aineen syöntiin ja eläimen energiata-setta kuvaaviin veriparametreihin hyödyntäen aikaisemmin julkaistuja tieteellisiä tutkimuksia.

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Aineiston kerääminen ja täydentäminen

Meta-analyysin aineistoon hyväksyttiin mukaan tutkimukset, joissa ummessaolokauden ruokinnan solunsisällyshiilihydraattien pitoisuutta muutettiin aikaisintaan 30 päivää ennen odotettua poikimista, ja joissa tunnuskauden ruokinnan väkirehun osuus tai solunsisällyshiilihydraattipitoisuus oli tiedossa tai laskettavissa.

Tutkimuksen aineistona toimivat vertaisarvioidut tieteelliset julkaisut kerättiin helmi-kesäkuussa 2018 Helka-tietokannasta ja Google Scholar-hakupalvelusta. Kerätyt tiedot tallennettiin taulukkolaskentaohjelmaan (Microsoft Excel 2013, Microsoft Corporation, Redmont, WA, USA). Aineisto koostui 20 koti- ja ulkomaisesta vertaisarvioidusta julkaisusta, jotka on julkaistu vuosina 1998-2017 (taulukko 1).

Tutkimuksista kerättiin taulukkolaskelmaohjelmaan dieetti-, tuotos-, syönti- ja veriparametritietoja. Tallennettuja tietoja dieeteistä olivat tunnutuksen kesto, väkirehun osuus tunnutusdieetissä, solunsisällyshiilihydraattien pitoisuus dieetissä tunnutuskaudella ja poikimisen jälkeen, NDF-kuidun pitoisuus tunnutuskauden dieetissä sekä kuiva-aineen syönti tunnutuskaudella ja poikimisen jälkeen. Mikäli tutkimuksessa ei ilmoitettu suoraan solunsisällyshiilihydraattien pitoisuutta, se laskettiin erotuksena dieetin kuiva-ainekoostumuksesta seuraavalla kaavalla: SSHH-pitoisuus = $(100 - \text{NDF-pitoisuus} - \text{raaka-alku-alku-alku-pitoisuus} - \text{rasvapitoisuus} - \text{tuhkapitoisuus})$. Mannin ym. (2005) tutkimuksessa dieettien tuhkapitoisuuksia ei ilmoitettu, joten ne laskettiin ruokinnassa käytettyjen rehujen rehutaulukkoarvoista (Luke 2018), jotta dieettien solunsisällyshiilihydraattien pitoisuudet pystyttiin määrittämään. Littlen ym. (2017) tutkimuksen dieettien solunsisällyshiilihydraattien pitoisuuksien määrittämistä varten puuttuvat raakaraspapitoisuudet laskettiin niin ikään dieeteissä käytettyjen rehujen rehutaulukkoarvoista (Luke 2018).

Tuotostiedoista aineistoon kerättiin maitotuotos, maidon rasva-, valkuais- ja laktoosipitoisuudet sekä rasva-, valkuais- ja laktoosituotokset. Kaikissa julkaisuissa ei ilmoitettu tietoja maitotuotoksesta tai maidon komponenteista (taulukko 2). Energiakorjatut maitotuotokset laskettiin aineistoon Sjaunjan ym. (1991) esittämällä kaavalla:

$$\text{EKM (kg)} = \text{maitotuotos (kg)} \times (383 \times \text{rasva-\%} + 242 \times \text{valk-\%} + 165,4 \times \text{lakt-\%} + 20,7) / 3140$$

Mikäli maidon laktoosipitoisuus ei ollut tiedossa, energiakorjatut maitotuotokset laskettiin aineistoon seuraavalla Sjaunjan ym. (1991) esittämällä kaavalla:

$$\text{EKM (kg)} = \text{maitotuotos (kg)} \times (383 \times \text{rasva-\%} + 242 \times \text{valk-\%} + 783,2) / 3140$$

Dieetti- ja tuotostietojen lisäksi aineistoon kerättiin kuiva-aineen syönti ennen poikimista ja poikimisen jälkeen sekä veriparametreista NEFA- ja BHBA-pitoisuudet tunnuskaudella ja poikimisen jälkeen, mikäli ne olivat julkaisuista saatavilla (taulukko 2).

Aineisto jaoteltiin juoksevilla numeroinnilla alakokeiksi. Faktoriaalisissa kokeissa yhdestä julkaisusta saatiin 1-2 alakoetta, joilla erotettiin yhden faktorin sisällä tapahtunut solunsisällyshiilihydraattien pitoisuuden muutos kontrollidieettiin verrattuna. Aineistossa oli yhteensä 22 alakoetta. Taulukkolaskentaohjelmalla laskettiin tunnusdieetin solunsisällyshiilihydraattien pitoisuuden, kuiva-aineen syönnin ja EKM-tuotoksen muutos kontrollidieettiin verrattuna kunkin alakokeen sisällä.

Taulukko 1. Yhteenveto meta-analyysissä käytetyistä tutkimuksista ja dieeteistä.

	n	Kokeen kesto (pv) ¹⁾	Tunnusdieetti		Väkirehun osuus (% ka)	SSHH-pitoisuus (g/kg ka)	NDF-pitoisuus (g/kg ka)
			Karkea-rehu ²⁾	Alakoe			
Dieho ym. (2017)	10	-28 / 45	maissi	1	10,7 35	258 346	531 497
Doepel ym. (2002)	26	-21 / 42	nurmi	2 3	51,8 52,2 43,5 48	187 246 240 306	515 500 439 430
Holcomb ym. (2001) ³⁾	41	-21 / 40	maissi	4 5	30 43,9 30 43,9	251 300 251 300	442 392 442 392
Huang ym. (2014)	39	-21 / 35	nurmi	6	36,2 44,6 52	239 304 350	498 429 374
Kanjanapruthipong ym. (2010)	30	-21 / 35	nurmi	7	64,8 66,8 70,4	309 333 370	342 321 289
Keady ym. (2001)	60	-28 / 84	nurmi	8	0 36,7	110 270	614 466

Taulukko 1. (jatkuu)

Keady ym. (2005)	76	-28 / 112	nurmi	9	0	151	508
					60	357	345
Kokkonen ym. (2004)	30	-21 / 70	nurmi	10	14,8	266	491
					29	310	445
					45,9	362	392
				11	15,1	267	490
					33,3	323	432
					47,5	367	387
Little ym. (2017)	26	28 / 70	nurmi	12	0	160	558
					40	227	498
Mann ym. (2015)	84	-28 / 42	maissi	13	31,0	292	484
					29,1	353	422
Mashek ja Beede (2000)	189	-21 / 60	maissi	14	37,9	352	393
					59,2	383	349
McNamara ym. (2003)	60	-28 / 56	nurmi	15	0	148	623
					0	163	562
					25,3	258	477
Minor ym. (1998)	75	-19 / 280	nurmi	16	13	235	489
					56,5	438	295
Rabelo ym. (2003)	60	-28 / 70	maissi	17	22	382	397
					46,4	446	322
Roche ym. (2010)	68	-21 / 35	nurmi	18	0	132	521
					30,6	318	393
Smith ym. (2005 ja 2008)	72	-21 / 28	maissi	19	45	336	441
					39,9	403	372
Vandehaar ym. (1999)	80	-28 / 70	nurmi	20	6,3	-	515
					28,9	-	400
					51,2	-	302
Vickers ym. (2013)	87	-21 / 154	maissi/ nurmi	21	13	266	484
					23	327	413
Zhang ym. (2015)	57	-21 / 56	maissi	22	-	206	563
					-	269	499
					-	337	435

n = Eläinmäärä

1) = Päivää ennen poikimista (tunnetuksen kesto) / Päivää poikimisen jälkeen

2) = Tunnetusdieetin pääasiallisen (vähintään 50 % kuiva-aineesta) karkearehun tyyppi (maissi- tai nurmisäilörehu)

3) = Holcomb ym. (2001): tutkimuksessa samalla koedieetillä sekä rajoitettu että vapaa saanti

- = ei tietoa

Taulukko 2. Aineiston tilastolliset tunnusluvut.

	n	Keskiarvo	SD	Min.	Max.
Kuiva-aineen syönti ennen poikimista (kg/pv)	47	11,3	1,96	7,4	14,3
Kuiva-aineen syönti poikimisen jälkeen (kg/pv)	47	18,8	2,47	13,5	22,4
Maitotuotos (kg/pv)	46	34,5	6,01	23,4	43,8
EKM-tuotos (kg/pv)	47	34,4	6,25	23,2	47,3
Rasvapitoisuus (g/kg)	44	41,1	5,95	30,5	59,6
Rasvatuotos (kg/pv)	44	1,40	0,31	0,93	2,18
Valkuaispitoisuus (g/kg)	44	32,0	1,46	30,0	35,3
Valkuaistuotos (kg/pv)	44	1,09	0,18	0,76	1,44
Laktoosipitoisuus (g/kg)	30	47,5	1,78	44,5	51,2
Laktoosituotos (kg/pv)	30	1,58	0,30	1,10	2,06
BHBA-pitoisuus ennen poikimista (mmol/l)	19	0,47	0,09	0,29	0,57
BHBA-pitoisuus poikimisen jälkeen (mmol/l)	24	0,75	0,19	0,36	1,10
NEFA-pitoisuus ennen poikimista (mmol/l)	19	0,23	0,08	0,12	0,41
NEFA-pitoisuus poikimisen jälkeen (mmol/l)	29	0,51	0,19	0,21	0,96

n = havaintojen määrä aineistossa
 SD = keskihajonta (standard deviation)
 EKM-tuotos = energiakorjattu maitotuotos
 BHBA = β -hydroksivoihappo
 NEFA = vapaat rasvahapot (non-esterified fatty acids)

3.2 Aineiston luokittelu

Aineiston luokittelevina tekijöinä käytettiin tunnutuskauden dieetin pääasiallisen karkearehun tyyppiä ja kontrollidieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuutta. Aineisto jaoteltiin tunnutuskauden pääasiallisen karkearehun mukaan kahteen luokkaan: maissisäilörehu (1) ja nurmisäilörehu (2). Mikäli tunnutuskauden dieetistä vähintään 50 prosenttia kuiva-aineesta koostui maissisäilörehusta, sisällytettiin se ensimmäiseen luokkaan. Rochen ym. (2010) tutkimuksessa dieetin pääasiallinen karkearehu oli laidun, joten se sisällytettiin nurmisäilörehuluokkaan. Vickersin ym. (2013) tutkimuksessa toisessa koedieetissä pääasiallinen karkearehu oli maissisäilörehu ja toisessa koedieetissä

nurmisäilörehu, joten tutkimus jätettiin luokittelun ulkopuolelle. Aineiston 22 alakokeesta kahdeksassa pääasiallinen karkearehu oli maissisäilörehu ja 13 alakokeessa nurmisäilörehu.

Kontrollidieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden mukaan aineisto jaoteltiin myös kahteen luokkaan: solunsisällyshiilihydraattipitoisuus alle 250 g/kg ka (1) ja yli 250 g/kg ka (2). Kymmenessä alakokeessa kontrollidieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuus oli alle 250 g/kg ka ja 11 alakokeessa yli 250 g/kg ka. Vandehaarin ym. (1999) tutkimuksessa ummessaolokauden dieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuutta ei ilmoitettu eikä sitä kyetty laskemaan julkaisun tietojen perusteella, joten tämä tutkimus jätettiin luokittelun ulkopuolelle. Solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden raja-arvoksi valittiin 250 g/kg ka, koska sitä vähemmän solunsisällyshiilihydraatteja sisältävät ruokinnat sisältävät yleensä vain niukasti väkirehua.

3.3 Tilastollinen analyysi

Tutkimuksen aineisto analysoitiin SAS-ohjelman Proc Mixed-proseduurilla (SAS versio 9.4, SAS Institute Inc. Cary, USA) St-Pierren (2001) kuvaamalla tavalla. Poikimista edeltävän dieetin solunsisällyshiilihydraatti- ja NDF-pitoisuuksien yhteyttä maitotuotokseen, maidon koostumukseen, kuiva-aineen syöntiin ja veriparametreihin tarkasteltiin käyttämällä regressioanalyysiä sekä lineaarista ja toisen asteen sekamallia. Kulmakerroin ja leikkauspiste sisällytettiin malleihin kiinteinä ja satunnaisina tekijöinä ja alakoe satunnaisena tekijänä. Kaikki muuttujat testattiin sekä ensimmäisen että toisen asteen regressiomallilla. Jos leikkauspisteen ja kulmakertoimen kovarianssiestimaatti ei eronnut nolasta ($p > 0,20$), se poistettiin mallista (St-Pierre 2001). Jos malli ei ratkennut tai satunnaistekijänä käytetyn kulmakertoimen varianssiestimaatti ei ollut tilastollisesti merkitsevästi nolasta poikkeava ($p > 0,20$), poistettiin kulmakerroin satunnaistekijänä mallista. Solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden tasoluokkien (alle 250 g/kg ka ja yli 250 g/kg ka) välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa leikkauspisteiden välillä, joten yhdysvaikutusta testattiin mallilla, jossa eri tasoluokissa oli yhteinen leikkauspiste. Karkearehutyypin ja solunsisällyshiilihydraattitasoluokan yhteyttä tunnusruokinnan SSHH-pitoisuuden, EKM-tuotoksen ja poikimisen jälkeisen kuiva-aineen syönnin muutokseen alakokeen sisällä, kontrollidieettiin verrattuna, testattiin varianssianalyysillä käyttäen

mallia, jossa karkearehutyypin tai solunsisällyshiilihydraattitasoluokka oli kiinteänä ja alakoe satunnaisena tekijänä.

Tunnetusruokinnan vaikutusta pelkkään nurmisäilörehuruokintaan verrattuna oli tutkittu viidessä aineistoon kuuluvassa tutkimuksessa (Keady ym. 2001, McNamara ym. 2003, Keady ym. 2005, Roche ym. 2010 ja Little ym. 2017). Tämän osa-aineiston tilastollisessa analyysissä käytettiin Mix 2.0 PRO ohjelman versiota 2.016 ja ohjelman Random-mallia. Ei-tunnetettujen ja tunnetettujen koeryhmien keskiarvojen ero painotettiin käyttäen painokertoimena varianssin käänteislukua.

4 TULOKSET

4.1 Tunnetusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden vaikutus

Taulukko 3 kuvaa tunnetusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden vaikutusta maitotuotokseen, maidon koostumukseen, veriparametreihin ja kuiva-aineen syöntiin. Solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden lisääminen 10 g/kg ka suurensi maidon valkuaispitoisuutta 0,04 g/kg ($p=0,004$) ja valkuaisuutosta 0,003 kg/pv ($p=0,04$) sekä pienensi veren NEFA-pitoisuutta ennen poikimista 0,01 mmol/l ($p=0,02$). Solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden lisääminen kasvatti suuntaa antavasti EKM-tuotosta. Muihin selitettäviin muuttujiin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden lisäämisellä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta lineaarisessa mallissa.

Toisen asteen malli osoitti, että tunnetuskauden dieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden vaikutus poikimisen jälkeiseen kuiva-aineen syöntiin oli käyräviivainen: solunsisällyshiilihydraattien pitoisuuden kasvu tunnetuskauden dieetissä vähensi aluksi kuiva-aineen syöntiä poikimisen jälkeen, mutta suuremmilla solunsisällyshiilihydraattipitoisuuksilla syönti alkoi lisääntyä (kuva 1). Muiden muuttujien osalta käyräviivaista vaikutusta ei havaittu.

Taulukko 3. Tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden vaikutus (10 g/kg ka kohti).

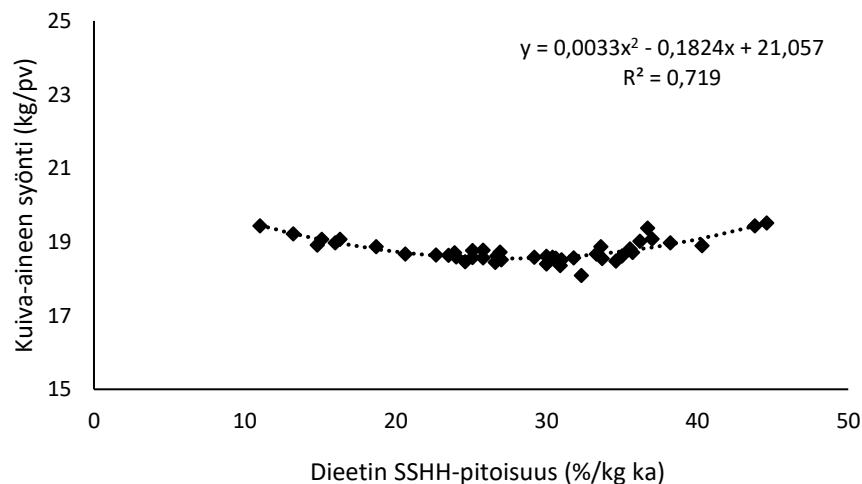
	Leik- kaus- piste	SE	P	Kulma- kerroin	SE	P	R ²
Maitotuotos (kg/pv)	33,2	1,76	<0,01	0,05	0,040	0,21	0,11
EKM-tuotos (kg/pv)	32,2	1,73	<0,01	0,07	0,036	0,054	0,26
Rasvapitoisuus (g/kg)	40,5	1,70	<0,01	0,02	0,037	0,59	0,004
Rasvatuotos (kg/pv)	1,34	0,08	<0,01	0,002	0,002	0,21	0,11
Valkuaispitoisuus (g/kg)	30,9	0,48	<0,01	0,04	0,012	<0,01	0,47
Valkuaistuotos (kg/pv)	1,00	0,06	<0,01	0,003	0,001	0,04	0,28
Laktoosipitoisuus (g/kg)	47,5	0,57	<0,01	-0,002	0,010	0,84	0
Laktoosituotos (kg/pv)	1,57	0,10	<0,01	0,000	0,002	0,81	0
BHBA-pitoisuus ennen poikimista (mmol/l)	0,29	0,11	0,03	0,01	0,003	0,14	0,22
BHBA-pitoisuus poikimisen jälkeen (mmol/l)	0,68	0,20	0,01	0,002	0,006	0,73	0
NEFA-pitoisuus ennen poikimista (mmol/l)	0,51	0,12	<0,01	-0,01	0,003	0,02	0,60
NEFA-pitoisuus poikimisen jälkeen (mmol/l)	0,61	0,14	<0,01	-0,002	0,004	0,72	0
Kuiva-aineen syönti poikimisen jälkeen (kg/pv)	18,5	0,69	<0,01	0,01	0,014	0,70	0

SE = keskivirhe (standard error)

EKM-tuotos = energiakorjattu maitotuotos

BHBA = β -hydroksivoihappo

NEFA = vapaat rasvahapot (non-esterified fatty acids)



Kuva 1. Dieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja kuiva-aineen syönnin yhteys.

4.2 Tunnutusdieetin NDF-pitoisuuden vaikutus

Taulukko 4 esittää tunnutusdieetin NDF-pitoisuuden vaikutusta maitotuotokseen, maidon koostumukseen, veriparametreihin ja kuiva-aineen syöntiin. Dieetin NDF-pitoisuuden lisääminen 10 g/kg ka pienensi maidon valkuaispitoisuutta ($p=0,01$) ja kasvatti veren NEFA-pitoisuutta ennen poikimista ($p=0,03$). NDF-pitoisuuden lisääminen vähensi suuntaa antavasti EKM- ja valkuaistuotoksia. Dieetin NDF-pitoisuuden ja selitettävien muuttujien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä toisen asteen yhteyksiä.

Taulukko 4. Tunnutusdieetin NDF-pitoisuuden vaikutus (10 g/kg ka kohti).

	Leikkaus- piste	SE	P	Kulma- kerroin	SE	P	R ²
Maitotuotos (kg/pv)	37,2	2,33	<0.01	-0,06	0,043	0,20	0,13
EKM-tuotos (kg/pv)	37,3	2,01	<0.01	-0,07	0,033	0,06	0,24
Rasvapitoisuus (g/kg)	42,2	2,20	<0.01	-0,03	0,040	0,53	0,02
Rasvatuotos (kg/pv)	1,50	0,10	<0.01	-0,003	0,002	0,16	0,17
Valkuaispitoisuus (g/kg)	33,6	0,66	<0.01	-0,04	0,013	<0,01	0,45
Valkuaistuotos (kg/pv)	1,21	0,08	<0.01	-0,003	0,001	0,06	0,28
Laktoosipitoisuus (g/kg)	47,2	0,73	<0.01	0,004	0,012	0,73	0
Laktoosituotos (kg/pv)	1,61	0,13	<0.01	-0,001	0,002	0,78	0
BHBA-pitoisuus ennen poikimista (mmol/l)	0,63	0,15	<0,01	-0,004	0,003	0,26	0,19
BHBA-pitoisuus poikimisen jälkeen (mmol/l)	0,72	0,26	0,02	0,000	0,006	0,94	0,00
NEFA-pitoisuus ennen poikimista (mmol/l)	-0,10	0,12	0,40	0,01	0,003	0,03	0,69
NEFA-pitoisuus poikimisen jälkeen (mmol/l)	0,48	0,15	<0,01	0,001	0,003	0,71	0
Kuiva-aineen syönti poikimisen jälkeen (kg/pv)	19,1	0,81	<0.01	-0,01	0,013	0,58	0,01

SE = keskivirhe (standard error)

EKM-tuotos = energiakorjattu maitotuotos

BHBA = β -hydroksivoihappo

NEFA = vapaat rasvahapot (non-esterified fatty acids)

4.3 Tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja dieetin karkearehun yhdysvaikutus

Tutkimuksessa alakokeet luokiteltiin kahteen luokkaan poikimista edeltävän dieetin pääasiallisen karkearehun mukaan: maissisäilörehu ja nurmisäilörehu. Maissisäilörehuluokan dieettien keskimääräinen SSHH-pitoisuus oli 318 g/kg ka ja NDF-pitoisuus 437 g/kg ka. Nurmisäilörehuluokassa keskimääräiset SSHH- ja NDF-pitoisuudet olivat 269 g/kg ka ja 447 g/kg ka.

Dieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja karkearehutyypin välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhdysvaikutuksia maitotuotokseen, maidon koostumukseen, veriparametreihin tai kuiva-aineen syöntiin.

4.4 Tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja -tason yhdysvaikutukset

Tutkimuksessa alakokeet luokiteltiin kahteen luokkaan kontrollidieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden mukaan: pitoisuus alle 250 g/kg ka ja yli 250 g/kg ka. Alemmassa SSHH-tasoluokassa tunnutusdieettien keskimääräinen SSHH-pitoisuus oli 246 g/kg ka ja NDF-pitoisuus 480 g/kg ka. Korkeammassa SSHH-tasoluokassa keskimääräiset SSHH- ja NDF-pitoisuudet olivat 326 g/kg ka ja 415 g/kg ka. Tilastollisesti merkitsevä lineaarinen yhdysvaikutus havaittiin maitotuotoksessa, maidon rasvapitoisuudessa ja kuiva-aineen syönnissä poikimisen jälkeen (taulukko 5). Yhdysvaikutus viittaa siihen, että kulmakeruimet ovat SSHH-tasoluokissa erisuuruisia. Veren NEFA-pitoisuuden osalta yhdysvaikutusta ei pystytty testaamaan, koska veriparametritulokset jakautuivat aineistossa erittäin epätasapainoisesti SSHH-tasoluokkien suhteen. NEFA-pitoisuushavaintoja oli saatavilla vain yhdestä alakokeesta alemmassa SSHH-tasoluokassa (alle 250 g/kg ka).

Tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuden korkeammalla tasolla (yli 250 g /kg ka), dieetin SSHH-pitoisuuden lisääminen kasvatti maitotuotosta ja poikimisen jälkeistä kuiva-aineen syöntiä tilastollisesti merkitsevällä tavalla ($p=0,02$ ja $p<0,01$). Havaittu maidon rasvapitoisuutta pienentävä vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0,16$). Alemmalla SSHH-tasolla (alle 250 g/kg ka), tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä maitotuotokseen, maidon rasvapitoisuuteen ja poikimisen jälkeiseen kuiva-aineen syöntiin ei havaittu.

Taulukko 5. Tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja -tason yhdysvaikutus (10 g/kg ka kohti).

	SSHH-taso (g/kg ka)	Leikkauspiste ¹⁾	SE	P	Kulmakerroin	SE	P ₁ ²⁾	P ₂ ³⁾
Maitotuotos (kg/pv)		34,98	3,542	<0.01				0,06
	<250				0,0079	0,00939	0,41	
	>250				0,0148	0,00617	0,02	
Rasvapitoisuus (g/kg)		40,79	2,206	<0.01				0,07
	<250				-0,0077	0,00752	0,32	
	>250				-0,0088	0,0061	0,16	
Kuiva-aineen syönti ⁴⁾ (kg/pv)		17,85	0,642	<0.01				0,004
	<250				0,0011	0,00144	0,45	
	>250				0,0063	0,00218	0,009	

1) yhteinen leikkauspiste

2) testaus poikkeako kulmakerron nollasta

3) kulmakertoimen ja SSHH-tason yhdysvaikutus

4) poikimisen jälkeen

SE = keskivirhe (standard error)

4.5 Alakokeiden sisäiset muutokset solunsisällyshiilihydraattipitoisuudessa, EKM-tuotoksessa ja kuiva-aineen syönnissä kontrollidieettiin verrattuna

Kun aineiston luokittelevana tekijänä käytettiin tunnutusdieetin pääasiallista karkearehua (maissisäilörehu tai nurmisäilörehu), tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuden, EKM-tuotoksen ja poikimisen jälkeisen kuiva-aineen syönnin muutokset kontrollidieettiin verrattuna eivät olleet tilastollisesti merkitseviä eri karkearehuluokkien välillä.

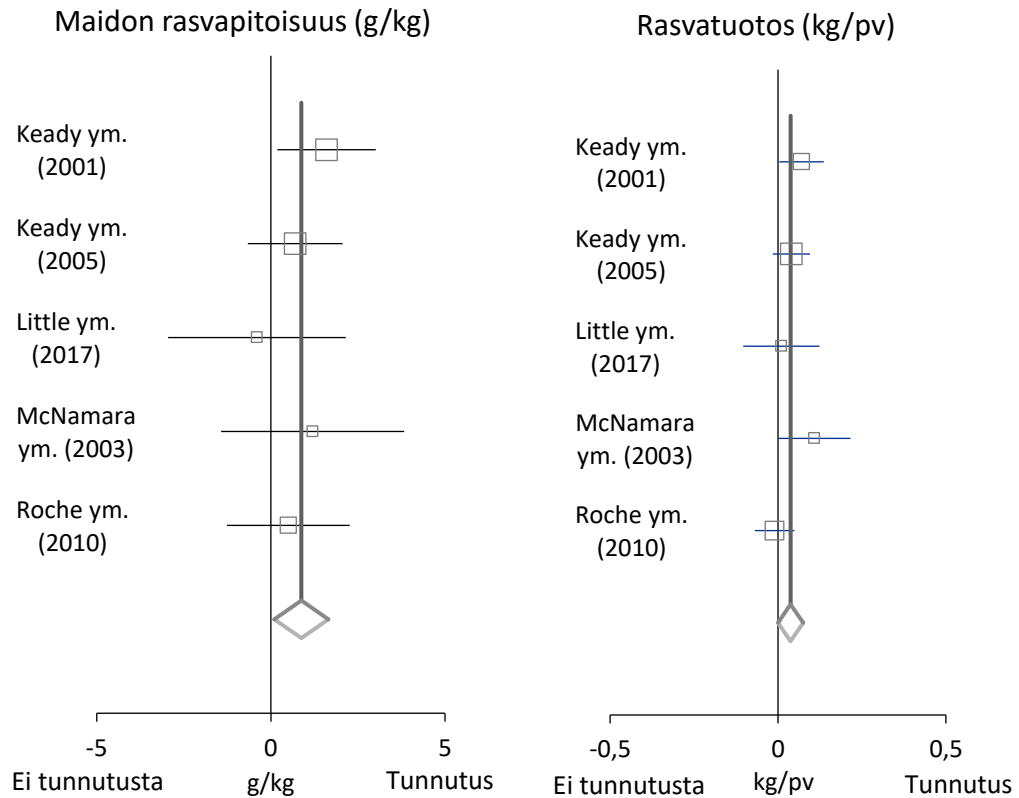
Kun aineiston luokittelevana tekijänä käytettiin tunnutusdieetin SSHH-tasoa (alle 250 g/kg ka tai yli 250 g/kg ka), EKM-tuotoksessa ja poikimisen jälkeisessä kuiva-aineen syönnissä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta kontrollidieettiin verrattuna eri tasoluokkien välillä. Tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuden muutos kontrollidieettiin verrattuna kuitenkin oli tilastollisesti merkitsevästi erilainen tasoluokkien välillä ($p=0,03$). Alemmassa SSHH-tasoluokassa (alle 250 g/kg ka) muutos oli 11,1 g ($p<0,01$) ja korkeammassa SSHH-tasoluokassa (yli 250 g/kg ka) muutos oli 6,1 g ($p<0,01$) kontrollidieettiin verrattuna.

4.6 Väkirehun lisääminen pelkästään karkearehua sisältävään tunnutusdieettiin

Väkirehun lisääminen pelkästään nurmisäilörehua sisältäneeseen tunnutuskauden dieettiin suurensi maidon rasvapitoisuutta ja rasvatuotosta (taulukko 6, kuva 2). Väki-
hun lisäämisellä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää vaikutusta maitotuotokseen, mai-
don valkuaispitoisuuteen, valkuaistuotokseen tai poikimista edeltävään tai poikimisen
jälkeiseen kuiva-aineen syöntiin verrattuna pelkästään nurmisäilörehua sisältäviin tun-
nutuskauden dieetteihin.

Taulukko 6. Väki-
hun lisäämisen vaikutus pelkästään karkearehua sisältävään tunnu-
tusdieettiin verrattuna.

	Keskiarvojen erotus	Luottamusvälin alaraja	Luottamusvälin yläraja	P
Kuiva-aineen syönti ennen poikimista (kg/pv)	0,74	-0,410	1,887	0,21
Kuiva-aineen syönti poiki- misen jälkeen (kg/pv)	0,01	-0,269	0,298	0,92
Maitotuotos (kg/pv)	0,58	-0,156	1,314	0,12
Rasvapitoisuus (g/kg)	0,87	0,099	1,651	0,03
Rasvatuotos (kg/pv)	0,04	0,004	0,068	0,03
Valkuaispitoisuus (g/kg)	0,20	-0,196	0,598	0,32
Valkuaistuotos (kg/pv)	0,01	-0,017	0,039	0,45



Kuva 2. Tunnutuksen vaikutus maidon rasvapitoisuuteen ja rasvatuotokseen. Pystysuora paksu viiva kuvaa keskimääräistä vaikutusta ja timantinmuotoinen kuvio luottamusväliä. Valkopohjainen neliö osoittaa parametrin keskiarvon ja vaakaviiva 95 %:n luottamusvälin kussakin kokeessa. Painoarvoltaan suurten (eli hajonnaltaan pienten) tutkimusten tulokset on esitetty suurempina valkopohjaisina neliöinä.

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraatti- ja NDF-pitoisuudet

Yksittäisissä tutkimuksissa tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden vaikutukset maitotuotokseen, maidon koostumukseen, kuiva-aineen syöntiin sekä veren NEFA- ja BHBA-pitoisuuksiin ovat olleet vaihtelevia. Overtonin ja Waldronin (2004) mukaan useimmissa tutkimuksissa ummessaolokauden solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden lisäämisellä on havaittu positiivisia vaikutuksia lehmien tuotokseen ja terveyteen, mutta dieettien erilaisia solunsisällyshiilihydraattipitoisuuksia ei kuitenkaan ole tutkittu riippumattomana dieetin energiapitoisuudesta. Dieetin solunsisällyshiilihydraatti- ja

energiapitoisuudella on negatiivinen yhteys dieetin NDF-pitoisuuden kanssa (Mertens 1997).

5.1.1 Kuiva-aineen syönti poikimisen jälkeen

Lineaarisessa mallissa tunnutuskauden dieetin SSHH-pitoisuuden lisäämisen vaikutus poikimisen jälkeiseen kuiva-aineen syöntiin ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Toisen asteen mallissa SSHH-pitoisuuden vaikutus oli käyräviivainen. Kun SSHH-pitoisuus lisääntyi tunnutuskauden dieetissä, se vähensi aluksi kuiva-aineen syöntiä poikimisen jälkeen, mutta suuremmilla SSHH-pitoisuuksilla syönti alkoi lisääntyä (kuva 1). SSHH-pitoisuuden ja -tason yhdysvaikutuksen testaamisessa havaittiin, että korkeammalla SSHH-tasolla (yli 250 g/kg ka) dieetin SSHH-pitoisuuden lisääminen suurensi poikimisen jälkeistä kuiva-aineen syöntiä tilastollisesti merkitsevästi, mikä on samansuuntainen tulos kuin toisen asteen mallissa. Aineistossa tunnutusdieetin ja poikimisen jälkeisen dieetin SSHH-pitoisuuksien välillä oli positiivinen korrelaatio, samoin kuin poikimisen jälkeisen SSHH-pitoisuuden ja kuiva-aineen syönnin välillä. Tämä on voinut vaikuttaa siihen, että suuremmilla tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuksilla poikimisen jälkeisen kuiva-aineen syönnin havaittiin kasvavan. Dieetin suurempi SSHH-pitoisuus viittaa suurempaan väkirehun osuuteen ruokinnassa. Väkirehun osuuden nopealla lisäämisellä tuotoskauden alussa on havaittu olevan kuiva-aineen syöntiä kasvattava vaikutus (Kokkonen ym. 2004).

Meta-analyysin aineistona käytetyissä tutkimuksissa poikimisen jälkeistä kuiva-aineen syöntiä mitattiin eripituisilla ajanjaksoilla, mikä on voinut vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Aineiston tutkimuksissa kuiva-aineen syöntiä mitattiin 4-10 viikon ajan poikimisen jälkeen lukuun ottamatta neljää alakoetta, joissa mittausajanjakso oli pidempi (taulukko 1). Aineistoon tallennettiin kunkin julkaisun keskimääräinen kuiva-aineen syönti mittausajanjaksolla. Ingvarsenin ja Andersenin (2000) mukaan kuiva-aineen syönti on alhaisimmillaan poikimisen aikaan ja lisääntyy poikimisen jälkeen. Lisääntymisnopeus kuitenkin vaihtelee huomattavasti, sillä kuiva-aineen syönti on suurimmillaan 8-22 viikkoa poikimisen jälkeen.

Tuotoskauden alussa ruokinnan sisältäessä runsaasti väkirehua lehmän syöntikapasiteetti voi lisääntyä, mikäli pötsin pH:n laskua pystytään pienentämään (Dirksen ym.

1985, Mayer ym. 1986, ref. Ingvarsten 2006). Hernandez-Urdanetan ym. (1976), Rabelon ym. (2003) ja Huangin ym. (2017) tutkimuksissa tunnutuskaudella enemmän väkirehua saaneilla lehmillä pötsin pH oli ennen poikimista alempi kuin vähemmän väkirehua saaneilla lehmillä. Hernandez-Urdanetan (1976) ja Rabelon ym. (2003) tutkimuksissa tunnutusruokinta ei vaikuttanut pötsikäymiseen tuotoskauden ensimmäisten viikkojen aikana, kun taas Huangin ym. (2017) tutkimuksessa vähiten energiaa tunnutuskaudella saaneella ryhmällä pötsin pH oli matalampi tuotoskauden ensimmäisen viikon aikana. Pötsin keskimääräinen pH saattaa Jouany (2006) mukaan pysyä tasaisempaan, kun lehmää totutetaan asteittain runsaasti viljaa sisältävään ruokintaan ennen poikimista. Andersen ym. (1999) kuitenkin havaitsivat, että suurempi väkirehun osuus tunnutusruokinnassa lisäsi pötsin pH:n vaihtelua tuotoskauden alussa.

Pötsin matala pH suosii tärkkelystä käyttäviä ja maitohappoa tuottavia bakteereita sellulolyttisten bakteerien kustannuksella, mikä lisää pötsin pH:ta laskevan maitohapon muodostusta ja heikentää selluloosan sulatusta (Jouany 2006). Liman ym. (2015) tutkimuksessa siirtyminen kuitupitoiselta, niukasti energiaa sisältävältä ruokinnalta vähemmän kuitua ja enemmän energiaa sisältävään tuotoskauden ruokintaan muutti pötsin mikrobikoostumusta. Ummessaolokaudella sellulolyttisiä bakteereita esiintyi enemmän ja amylolyttisiä bakteereita vähemmän kuin tuotoskaudella, minkä lisäksi he havaitsivat eroja myös muissa, vielä osittain tuntemattomissa bakteerikannoissa. Ummessaolokaudella erilaisten sienten määrä oli suurempi ja tärkkelystä hajottavien alkueläinten määrä pienempi kuin tuotoskaudella. Derakhsanin ym. (2017) mukaan poikimisen jälkeen pötsimikrobisto muuttuu heterogeenisemmäksi, koska kuiva-aineen syönte ja ravintoaineiden saanti lisääntyy. Huang ym. (2017) havaitsivat, että tunnutuskaudella vähiten energiaa saaneiden lehmien pötsimikrobistossa oli viikko poikimisen jälkeen enemmän sellulolyttisiä *B. fibrisolvens*- ja *R. flavefaciens*-bakteereita kuin tunnutuskaudella enemmän energiaa saaneilla lehmillä. Tämän arvioitiin johtuvan tunnutusdieetin suuremmasta kuitupitoisuudesta. Ummessaolokauden viimeiseen viikkoon verrattuna muiden sellulolyttisten tai amylolyttisten bakteerien määrissä viikko poikimisen jälkeen ei havaittu eroja eri tunnutuskäsittelyiden välillä. Liman ym. (2015) tutkimuksessa pian poikivien lehmien pötsimikrobistossa oli enemmän amylolyttisiä ja asidofiilisiä bakteereita verrattuna hiehoihin, joiden ruokinta oli ollut kuitupitoista ja sisältänyt niu-

kasti energiaa. Myös Pitta ym. (2014) havaitsivat, että ensikoiden pötsimikrobiston koostumus oli homogeenisempi kuin useamman kerran poikineiden lehmien. Liman ym. (2015) tutkimuksessa löydettiin yhteyksiä poikimista edeltävän pötsimikrobiston koostumuksen ja maitotuotoksen sekä maidon rasva- ja valkuaispitoisuuksien välillä. On mahdollista, että tämänkin meta-analyysin aineistoon kuuluvissa tutkimuksissa tunnusruokinta on vaikuttanut pötsimikrobistoon ja pötsikäymiseen. Tunnusruokinnan vaikutuksesta pötsimikrobiston koostumukseen ei kuitenkaan ole vielä riittävästi tutkimustietoa.

Kuiva-aineen syöntiin vaikuttavat monet eläin-, ruokinta-, hoito- ja olosuhdeperäiset tekijät (Grummer ym. 2004), joten pelkästään tunnusruokinnan vaikutukset kuiva-aineen syöntiin ovat rajalliset. Ummessaolokauden kuntoluokan ja poikimisen jälkeisen kuiva-aineen syönnin välillä on havaittu negatiivinen yhteys (Grummer 1995). Tässä meta-analyysissä ei kuitenkaan otettu huomioon lehmien kuntoluokan vaikutusta, sillä kuntoluokan seurantaa oli tehty vain osassa aineistona käytetyistä tutkimuksista. Keady ym. (2001) ja Little ym. (2017) havaitsivat, että kuntoluokan kasvu oli hyvin vähäistä ummessaolokaudella ja varsinkin ummessaolokauden lopussa, kun ruokinta perustui nurmisäilörehuun ja lehmät saivat väkirehulisää. Myös tämän meta-analyysin aineistona käytetyissä tutkimuksissa tunnusruokinnan kesto oli niin lyhyt, että vaikutukset eläinten kuntoluokkaan ovat todennäköisesti olleet pieniä. Kuntoluokan lisäksi myös poikimista vaikuttaa kuiva-aineen syöntiin, sillä useamman kerran poikineiden lehmien kuiva-aineen syönnin on havaittu olevan suurempaa kuin ensikoiden (Ingvarsen ja Andersen 2000). Meta-analyysissä käytetyissä tutkimuksissa oli mukana vaihteleva määrä sekä ensikoita että useamman kerran poikineita lehmiä.

5.1.2 Maito- ja EKM-tuotokset

Tässä meta-analyysissä tunnusruokinnan SSHH-pitoisuuden lisäämisellä ja NDF-pitoisuuden pienentämisellä oli suuntaa antava, hieman suurentava vaikutus EKM-tuotokseen. Tunnusruokinnan SSHH-pitoisuuden korkeammalla tasolla (yli 250 g /kg ka) dieetin SSHH-pitoisuuden lisääminen suurensi poikimisen jälkeistä kuiva-aineen syöntiä ja maitotuotosta tilastollisesti merkitsevällä tavalla, mutta muutokset olivat pieniä. Yhteneväi-

sesti tämän tuloksen kanssa Hristov ym. (2000, ref. Hristov ym. 2004) havaitsivat yhteenvedossaan, että kuiva-aineen syönnin lisääntyminen lisää lineaarisesti myös maitotuotosta. Pienetkin erot maitotuotoksessa voivat aiheuttaa suuria kumulatiivisia vaikutuksia tilatasolla (Vickers ym. 2013).

Doepel ym. (2002) arvioivat, että riippuvuus elimistön kudosten mobilisoinnista maidon synteesiä varten voi muuttaa eri tunnususkäsittelyjen vaikutusta. Rasvakudoksen mobilisoinnin myötä veren NEFA-pitoisuus lisääntyy, ja veren NEFA-pitoisuuden on havaittu korreloivan negatiivisesti kuiva-aineen syönnin kanssa (Bell 1995, Ingvarsen ja Andersen 2000). Tässä meta-analyysissä tunnusruokinta ei vaikuttanut rasvakudoksen mobilisaatioon poikimisen jälkeen. Maitotuotokseen vaikuttavat ruokinnan lisäksi myös lehmän geneettinen tuotospotentiaali, tuotoskauden vaihe sekä hoito ja olosuhteet (Huhtanen ym. 2011).

5.1.3 Maidon rasva-, valkuais- ja laktoosipitoisuudet

Maidon koostumukseen vaikuttavat ruokinnan lisäksi muun muassa eläimen rotu, perimä, poikimakerta, tuotoskauden vaihe ja ympäristötekijät (Jenkins ja McQuire 2006). Tässä meta-analyysissä tunnusdieetin SSHH-pitoisuuden tai NDF-kuitupitoisuuden lisäämisellä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta maidon rasvapitoisuuteen koko aineistoa tarkasteltaessa, eri karkearehuluokissa tai eri SSHH-tasoluokissa. Pelkästään karkearehua sisältävään tunnuskauden dieettiin verrattaessa väkirehun lisääminen tunnuskaudella paransi maidon rasvapitoisuutta ja rasvatuotosta tilastollisesti merkitsevästi. Keady ym. (2001) ja Keady ym. (2005) arvioivat, että tunnuskaudella runsaasti energiaa saaneiden lehmien maidon rasvapitoisuus niukempienergiseillä dieetillä olleisiin leelmiin verrattuna johtui runsaasti energiaa saaneiden lehmien korkeammasta kuntoluokasta poikimisen aikaan. Lehmän poikimisen aikaisen kuntoluokan ja maidon rasvapitoisuuden välillä on havaittu positiivinen yhteys (Keady ja McCoy 2002, ref. Keady ym. 2005). Tämä perustuu siihen, että poikimisen jälkeen lihavammat lehmät mobilisoiivat hoikempia leelmiä enemmän rasvahappoja rasvakudoksistaan, mikä lisää veren NEFA-pitoisuutta ja vapaiden rasvahappojen käyttöä maitorasvan synteesiin (Bell 1995). Vain osasta tämän meta-analyysin aineistoon kuuluvista julkaisuista oli saatavilla tietoja lehmien kuntoluokista, joten lihavuuskunnon vaikutusta ei tutkittu.

Meta-analyysissä tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuden lisääminen 10 g/kg ka lisäsi maidon valkuaispitoisuutta 0,04 g/kg ja valkuaispitoisuutta 0,003 kg/pv. Käänteisesti, tunnutusdieetin NDF-pitoisuuden lisääminen 10 g/kg ka pienensi maidon valkuaispitoisuutta 0,04 g/kg. Emeryn (1978) katsausartikkelissa todetaan maidon valkuaispitoisuuden suurenevan, kun tuotoskauden ruokinnan energia- ja/tai valkuaispitoisuutta lisätään tai kuitupitoisuutta vähennetään. Tässä meta-analyysissä poikimista edeltävän ruokinnan väkirehupitoisuuden vaikutus maidon valkuaispitoisuuteen oli epäsuorempi ja se välittyi mahdollisesti tuotoskauden alussa lisääntyneen kuiva-aineen syönnin kautta. Jenkinsin ja McQuiren (2006) mukaan meta-analyysissä on havaittu, että tuotoskauden dieetin nopeasti pötsissä fermentoituvien hiilihydraattien määrällä on yhteys maidon valkuaispitoisuuteen. Tässä meta-analyysissä tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuden kasvu lisäsi käyräviivaisesti poikimisen jälkeistä kuiva-aineen syöntiä, kun tunnutusdieetin SSHH-pitoisuus oli yli 300 g/kg ka. Lisäksi aineistossa tunnutusdieetin ja poikimisen jälkeisen dieetin SSHH-pitoisuuksien välillä oli positiivinen korrelaatio. Siten suurempi energiansaanti poikimisen jälkeen saattoi osittain selittää maidon valkuaispitoisuuden kasvua.

Nopeasti fermentoituvat hiilihydraatit tuottavat pötsissä enemmän propionihappoa ja mikrobivalkuaista, mikä lisää maitotuotosta ja maidon valkuaispitoisuutta (Jenkins ja McQuire 2006). Väkirehun ja karkearehun välinen suhde, ruokinnassa käytetty viljalaji ja viljojen prosessointitapa vaikuttavat hiilihydraattien fermentaatioon pötsissä, mikä puolestaan vaikuttaa pötsimikrobiston kasvuun ja tuotettujen haihtuvien rasvahappojen osuuksiin (DePeters ja Cant 1992). Hiilihydraattikoostumuksen lisäksi myös dieetin rasva- ja valkuaispitoisuus sekä valkuaisen pötsihajoavuus voivat vaikuttaa pötsimikrobiston kasvuun, mikrobivalkuaisen virtaukseen ohutsuoleen ja lehmän energiansaantiin (DePeters ja Cant 1992), mutta tunnutusdieetin rasva- tai valkuaispitoisuuden vaikutusta ei tutkittu tässä meta-analyysissä.

Maitorauhasessa tapahtuvaan laktoosisynteesiin tarvitaan paljon glukoosia (Bell 1995). Maidon laktoosipitoisuuteen voidaan vaikuttaa vain erittäin äärimmäisillä ruokinnoilla (Jenkins ja McGuire 2006), joten odotetusti tässä meta-analyysissä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia maidon laktoosipitoisuuteen tai laktoosituotokseen.

5.1.4 Veren NEFA- ja BHBA-pitoisuudet

Meta-analyysin perusteella voidaan todeta, että tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuden lisääminen 10 g/kg ka pienensi veren NEFA-pitoisuutta ennen poikimista 0,01 mmol/l. Käänteisesti, tunnutusdieetin NDF-pitoisuuden lisääminen 10 g/kg ka suurensi veren NEFA-pitoisuutta ennen poikimista 0,01 mmol/l. Veren NEFA-pitoisuuden kohoamisen suuremmaksi kuin 0,3-0,5 mmol/l ennen poikimista on havaittu olevan riskitekijä jälkeisten jäämiselle ja kohtutulehdukselle (Chapinal ym. 2011), juoksutusmahan siirtymälle (LeBlanc ym. 2005, Chapinal ym. 2011), hedelmällisyysongelmille ja kliiniselle ketoosille (Ospina ym. 2010) sekä eläimen poistolle tuotoskauden alussa (Roberts ym. 2012).

Kun väkirehun osuutta ruokinnassa kasvatetaan, tyypillisesti myös energian saanti lisääntyy (Emery 1978, DePeters ja Cant 1992). Poikimista edeltävän dieetin energiapitoisuuden lisääminen parantaa lehmän energiatasetta poikimapäivänä (Rabelo ym. 2003). Kun energiansaanti lisääntyy ennen poikimista, veren NEFA-pitoisuuden havaitaan usein pienentyvän (Hayirli ym. 2011). Tämä johtuu siitä, että solunsisällyshiilihydraattien fermentoituminen pötsissä lisää propionihapon pitoisuutta ja siten myös glukoosin muodostumista (Mertens 1997). Propionihappo ja glukoosi edistävät antilipolyttisen eli rasvakudosten mobilisointia ehkäisevän hormonin, insuliinin eritystä (Mertens 1997). Väkirehun osuuden lisääminen tunnutuskauden dieetissä siis kasvattaa veren insuliinipitoisuutta, mikä vähentää rasvakudosten mobilisointia ja veren NEFA-pitoisuutta (Kokkonen ym. 2004).

Vandehaar ym. (1999) havaitsivat, että veren NEFA-pitoisuudella 1-2 päivää ennen poikimista oli positiivinen korrelaatio maksan triglyseridipitoisuuden kanssa päivä poikimisen jälkeen. Boben ym. (2004) mukaan maksa rasvoittuu, mikäli maksan rasvojen otto on suurempaa kuin niiden hapetus ja pois erity. Usein maksan rasvoittumista edeltää veren suuri NEFA-pitoisuus. Suurin osa maksan rasvoittumisesta tapahtuu tuotoskauden ensimmäisen kuukauden aikana (Grummer 1993). Tässä meta-analyysissä havaittu poikimista edeltävä veren NEFA-pitoisuuden pienentyminen voi siten vähentää lehmän riskiä sairastua rasvamaksa.

Huolimatta tunnutusdieetin vaikutuksesta veren NEFA-pitoisuuteen ennen poikimista, tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia poikimista edeltävään veren BHBA-pitoisuuteen ei

havaittu tässä meta-analyysissä. Koska tunnutusdieetti ei veren NEFA-pitoisuuden perusteella lisännyt rasvahappojen mobilisaatiota rasvakudoksista poikimisen jälkeen, oli myös odotettua, että veren BHBA-pitoisuudessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia. McCarthy ym. (2015) havaitsivat, että veren NEFA- ja BHBA-pitoisuuksien välillä on vain heikko yhteys, vaikka molemmat näistä yhdisteistä liittyvät negatiiviseen energiataseeseen sekä terveys- ja tuotosongelmien riskiin. NEFA- ja BHBA-pitoisuuksien välinen heikko yhteys selittyy osittain ketoaineiden muodostusreitintä kautta (McCarthy ym. 2015). Vaikka NEFA:t ovat ketoaineiden pääasiallisia substraatteja, ketoaineiden hiilen lähteenä käytetään myös muita aineita kuten maitohappoa ja ketogeenisiä aminohappoja (Drackley ym. 2001). Tuotoskauden alussa suuri osa maksassa muodostetusta glukoosesta käytetään maitorauhasessa, joten muiden kudosten energia-aineenvaihduntaan tarvitaan myös muita lähtöaineita. Kun saatavilla on runsaasti glukoneogeneesin substraattina toimivaa propionihappoa, ketoaineiden muodostus vähenee (Drackley ym. 2001).

5.2 Tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja pääasiallisen karkearehun yhdysvaikutus

Eri karkearehutyyppejen testaamisella selvitettiin, onko dieetin SSHH-pitoisuuden lisäämisellä suurempi vaikutus selitettäviin muuttujiin, kun SSHH-pitoisuuden lähtötaso on erilainen. Nurmisäilörehuista poiketen maissisäilörehut sisältävät solunsisällyshiilihydraatteihin luokiteltavaa tärkkelystä, minkä lisäksi aineistosta havaittiin, että maissisäilörehuluokan dieettien keskimääräinen SSHH-pitoisuus ennen poikimista oli nurmisäilörehuluokkaa suurempi. Tunnutusdieetin SSHH-pitoisuuden ja pääasiallisen karkearehutyypin (maissisäilörehu, nurmisäilörehu) välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhdysvaikutuksia maitotuotokseen, maidon koostumukseen, veriparametreihin tai poikimisen jälkeiseen kuiva-aineen syöntiin tässä meta-analyysissä.

Tuloksiin on voinut vaikuttaa, että tutkimusdieetit eivät koostuneet pelkästään yhden tyyppisestä karkearehusta (maissi- tai nurmisäilörehu), vaan molemmissa karkearehuluokissa useat koedieetit sisälsivät pääasiallisen karkearehun lisäksi myös muita karkearehukomponentteja. Koedieetit, joiden pääasiallinen karkearehu oli maissisäilörehu,

sisälsivät tutkimuksesta riippuen vaihtelevan määrän myös nurmisäilörehua, sinimailasäilörehua, heinää ja/tai olkea. Nurmisäilörehuryhmässä oli sekä tutkimuksia, joissa dieetti ei sisältänyt muita karkearehukomponentteja (Keady ym. 2001, Kokkonen ym. 2004, Keady ym. 2005, Roche ym. 2010 ja Little ym. 2017) että tutkimuksia, joissa nurmisäilörehua oli täydennetty maissisäilörehulla, kokoviljasäilörehulla, heinällä ja/tai oljella. Mahdollisesti tästä syystä karkearehuluokkien (maissi- tai nurmisäilörehu) väliset erot keskimääräisessä dieetin NDF-pitoisuudessa olivat odotettua pienemmät eikä tilastollisesti merkitseviä yhdysvaikutuksia selittäviin muuttujiin havaittu.

5.3 Tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja -tason yhdysvaikutukset

Korkeammassa SSHH-tasoluokassa (yli 250 g /kg ka) dieetin SSHH-pitoisuuden lisääminen kasvatti maitotuotosta ja poikimisen jälkeistä kuiva-aineen syöntiä tilastollisesti merkitsevästi, mutta ei vaikuttanut maidon rasvapitoisuuteen. Alemmassa SSHH-tasoluokassa (alle 250 g/kg ka) ei havaittu tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia maitotuotokseen, maidon rasvapitoisuuteen tai poikimisen jälkeiseen kuiva-aineen syöntiin. Alemmassa SSHH-tasoluokassa dieetit olivat hyvin karkearehuvaltaisia ja sisälsivät siten niukasti väkirehua. Testaamisella selvitettiin, onko dieetin SSHH-pitoisuuden lisäämisellä suurempi vaikutus selitettäviin muuttujiin, kun SSHH-pitoisuuden lähtötaso on matala.

Alakokeen sisällä alemmassa SSHH-tasoluokassa (alle 250 g/kg ka) SSHH-pitoisuuden muutos (11,1 g) kontrollidieettiin verrattuna oli suurempi kuin korkeammassa SSHH-tasoluokassa (yli 250 g/kg ka, 6,1 g). Tulokseen voi vaikuttaa, että toisin kuin korkeampi tasoluokka, alempi tasoluokka sisälsi viisi alakoeetta, joissa kontrollidieetit eivät sisältäneet ollenkaan väkirehua. Tästä syystä alakokeen sisäiset SSHH-pitoisuuden muutokset olivat suurempia kuin siinä tapauksessa, että myös kontrollidieetti sisälsi väkirehua.

Aineistossa eri SSHH-tasoluokkien välillä ei ollut selkeää eroa koedieettien määrissä alakokeiden sisällä. Sekä alemmassa (alle 250 g/kg ka) että ylemmässä (yli 250 g/kg ka) tasoluokassa suurin osa alakokeista sisälsi kaksi koedieettiä. Kun alakoe sisältää vain kaksi koedieettiä, dieettien väliset koostumuserot on lähtökohtaisesti tehty suuremmiksi kuin useamman koedieetin kokeissa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkielman tavoitteena oli selvittää, kuinka tunnutusruokinta vaikuttaa tuotoskauden alussa olevan lypsylehmän maitotuotokseen, maidon koostumukseen, kuiva-aineen syöntiin ja energiatasetta kuvaaviin veren NEFA- ja BHBA-pitoisuuksiin. Meta-analyysissä tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden lisääminen ja NDF-pitoisuuden vähentäminen paransi lehmän energiatasetta ennen poikimista pienentyneen veren NEFA-pitoisuuden perusteella sekä suurensi hieman maidon valkuaispitoisuutta ja valkuaistuotosta. Vaikutus poikimisen jälkeiseen kuiva-aineen syöntiin oli käyräviivainen siten, että solunsisällyshiilihydraattien pitoisuuden kasvu tunnutuskauden dieetissä vähensi aluksi kuiva-aineen syöntiä, mutta suuremmilla solunsisällyshiilihydraattipitoisuuksilla syönti alkoi lisääntyä. Tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja -tason välillä oli havaittavissa lineaarinen yhdysvaikutus maitotuotoksessa, maidon rasvapitoisuudessa ja kuiva-aineen syönnissä poikimisen jälkeen. Kun tunnutusdieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden lähtötaso oli vähintään 250 g/kg ka, solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden lisääminen paransi hieman maitotuotosta ja poikimisen jälkeistä kuiva-aineen syöntiä. Dieetin solunsisällyshiilihydraattipitoisuuden ja pääasiallisen karkearehun tyypin (maissi- tai nurmisäilörehu) välillä ei havaittu yhdysvaikutuksia maitotuotokseen, maidon koostumukseen, kuiva-aineen syöntiin tai lehmän energiataseseen. Pelkkää karkearehua sisältävään tunnutuskauden ruokintaan verrattuna väkirehun lisääminen ruokintaan suurensi maidon rasvapitoisuutta ja rasvatuotosta.

Tunnutusruokinnan vaikutukset maitotuotokseen, maidon koostumukseen ja kuiva-aineen syöntiin olivat pieniä. Vaikutusten vähäisyyttä voi selittää se, että lehmän tuotokseen ja syöntiin vaikuttavat tunnutusruokinnan ohella lukuisat muutkin tekijät, joita ei meta-analyysissä voitu ottaa huomioon. Tunnutusruokinnan havaittiin pienentävän veren NEFA-pitoisuutta, millä voi olla positiivisia vaikutuksia lehmän terveyteen ja hyvinvointiin, sillä ennen poikimista koholla olevan veren NEFA-pitoisuuden on havaittu altistavan lehmää erilaisille terveysongelmille. Muissa tutkimuksissa tehtyjen havaintojen perusteella tunnutusruokinta voi vaikuttaa pötsimikrobiston koostumukseen, pötsikäymiseen ja pötsin happamuuteen. Pötsin mikrobikoostumuksen osuudesta tunnutusruokinnan tuotos- ja terveysvaikutuksiin tarvitaan kuitenkin vielä lisätutkimusta.

7 KIITOKSET

Haluan kiittää erityisesti yliopistonlehtori Tuomo Kokkosta maisterintutkielmani ohjaamisesta, hyvistä neuvoista ja opastuksesta. Kiitokset myös perheelleni ja ystävilleni kaikesta saamastani tuesta ja kannustuksesta.

8 LÄHTEET

- Agenäs, S., Burstedt, E. & Holtenius, K. 2003. Effects of feeding intensity during the dry period. 1. Feed intake, body weight, and milk production. *Journal of Dairy Science* 86: 870-882.
- Allen, M. S., Bradford, B. J. & Oba, M. 2009. Board-invited review: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *Journal of Animal Science* 87: 3317-3334.
- Andersen, J. B., Sehested, J. & Ingvarsen, K. L. 1999. Effect of dry cow feeding strategy on rumen pH, concentration of volatile fatty acids and rumen epithelium development. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science* 49: 149-155.
- Andersson, L. 1988. Subclinical ketosis in dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 4: 233-251.
- Aschenbach, J. R., Kristensen, N. B., Donkin, S. S., Hammon, H. M. & Penner, G. B. 2010. Gluconeogenesis in dairy cows: The secret of making sweet milk from sour dough. *Life* 62: 869-877.
- Baird, G. D. 1982. Primary ketosis in the high-producing dairy cow: Clinical and subclinical disorders, treatment, prevention, and outlook. *Journal of Dairy Science* 65: 1-10.
- Bell, A. W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science* 73: 2804-2819.
- Bell, A. W., Slepatis, R. & Ehrhardt, R.A. 1995. Growth and accretion of energy and protein in the gravid uterus during late pregnancy in holstein cows. *Journal of Dairy Science* 78: 1954-1961.
- Bell, A. W. & Ehrhardt, R. A. 2000. Regulation of macronutrient partitioning between maternal and conceptus tissues in the pregnant ruminant. Teoksessa: Boomker, E. A.

- & Cronjé, P. (toim.). Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction. Wallingford, Oxon, U.K.; New York, N.Y., USA: CABI Publishing. s. 275-294.
- Bobe, G., Young, J. W. & Beitz, D. C. 2004. Invited review: Pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87: 3105-3124.
- Broster, W. H. 1971. The effect on milk yield of the cow of the level of feeding before calving. *Dairy Science Abstracts* 33: 253-270.
- Chapinal, N., Carson, M., Duffield, T. F., Capel, M., Godden, S., Overton, M., Santos, J. E. P. & LeBlanc, S. J. 2011. The association of serum metabolites with clinical disease during the transition period. *Journal of Dairy Science* 94: 4897-4903.
- DePeters, E. J. & Cant, J. P. 1992. Nutritional factors influencing the nitrogen composition of bovine milk: A review. *Journal of Dairy Science* 75: 2043-2070.
- Derakhshani, H., Tun, H. M., Cardoso, F. C., Plaizier, J. C., Khafipour, E. & Loor, J. J. 2017. Linking periparturient dynamics of ruminal microbiota to dietary changes and production parameters. *Frontiers in Microbiology* 7: 2143.
- Dewhurst, R. J., Davies, D. W. R. & Fisher, W. J. 2009. Effects of silage digestibility on intake and body reserves of dry cows and performance in the first part of the next lactation. *Animal* 3: 1721-1727.
- Dieho, K., Dijkstra, J., Klop, G., Schonewille, J. T. & Bannink, A. 2017. The effect of supplemental concentrate fed during the dry period on morphological and functional aspects of rumen adaptation in dairy cattle during the dry period and early lactation. *Journal of Dairy Science* 100: 343-356.
- Dirksen, G. U., Liebich, H. G. & Mayer, E., 1985. Adaptive changes of the ruminal mucosa and their functional and clinical significance. *Bovine Practitioner* 20: 116-120.
- Doepel, L., Lapierre, H. & Kennelly, J. J. 2002. Peripartum performance and metabolism of dairy cows in response to prepartum energy and protein intake. *Journal of Dairy Science* 85: 2315-2334.
- Drackley, J. K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? *Journal of Dairy Science* 82: 2259-2273.
- Drackley, J. K., Overton, T. R. & Douglas, G. N. 2001. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 84: E100-E112

- Drackley, J. K., Dann, H. M., Douglas, N., Janovick Guretzky, N. A., Litherland, N. B., Underwood, J. P. & Loor, J. J. 2005. Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. *Italian Journal of Animal Science* 4: 323-344.
- Drackley, J. K. & Andersen, J. B. 2006. Splanchnic metabolism of long-chain fatty acids in ruminants. Teoksessa: Hvelplund, T., Nielsen, M. O. & Sejrsen, K. (toim.). *Ruminant physiology: Digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress*. Wageningen, The Netherlands: Academic Publishers. s. 199-224.
- Duffield, T. F., Sandals, D., Leslie, K. E., Lissemore, K., McBride, B. W., Lumsden, J. H., Dick, P. & Bagg, R. 1998. Efficacy of monensin for the prevention of subclinical ketosis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81: 2866-2873.
- Emery, R. S. 1978. Feeding for increased milk protein. *Journal of Dairy Science* 61: 825-828.
- Flatt, W. P., Warner, R. G. & Loosli, J. K. 1958. Influence of purified materials on the development of the ruminant stomach. *Journal of Dairy Science* 41: 1593-1600.
- Friggens, N. C. 2003. Body lipid reserves and the reproductive cycle: towards a better understanding. *Livestock Production Science* 83: 219-236.
- Grum, D. E., Drackley, J. K., Younker, R. S., LaCount, D. W. & Veenhuizen, J. J. 1996. Nutrition during the dry period and hepatic lipid metabolism of periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 79: 1850-1864.
- Grummer, R. R. 1993. Etiology of lipid-related metabolic disorders in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76: 3882-3896.
- Grummer, R. R. 1995. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *Journal of Animal Science* 73: 2820-2833.
- Grummer, R. R., Mashek, D. G. & Hayirli, A. 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 20: 447-470.
- Hayirli, A., Keisler, D. H. & Doepel, L. 2011. Peripartum responses of dairy cows to prepartal feeding level and dietary fatty acid source. *Journal of Dairy Science* 94: 917-930.

- Hernandez-Urdaneta, A., Coppock, C. E., McDowell, R. E., Gianola, D. & Smith, N. E. 1976. Changes in forage-concentrate ratio of complete feeds for dairy cows. *Journal of Dairy Science* 59: 695-707.
- Holcomb, C. S., Van Horn, H. H., Head, H. H., Hall, M. B. & Wilcox, C. J. 2001. Effects of prepartum dry matter intake and forage percentage on postpartum performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84: 2051-2058.
- Hristov, A. N., Hristova, K. A. & Price, W. J. 2000. Relationship between dry matter intake, body weight, and milk yield in dairy cows: A summary of published data. *Journal of Dairy Science* 83 (Suppl. 1): 260.
- Hristov, A. N., Price, W. J. & Shafii, B. 2004. A meta-analysis examining the relationship among dietary factors, dry matter intake, and milk and milk protein yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87: 2184-2196.
- Huang, W., Tian, Y., Wang, Y., Simayi, A., Yasheng, A., Wu, Z., Li, S. & Cao, Z. 2014. Effect of reduced energy density of close-up diets on dry matter intake, lactation performance and energy balance in multiparous Holstein cows. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 5: 30.
- Huang, W., Tian, Y., Li, S., Wu, Z. & Cao, Z. 2017. Reduced energy density of close-up diets decrease ruminal pH and increase concentration of volatile fatty acids postpartum in Holstein cows. *Animal Science Journal* 88: 1700-1708.
- Huhtanen, P., Rinne, M., Mäntysaari, P. & Nousiainen, J. 2011. Integration of the effects of animal and dietary factors on total dry matter intake of dairy cows fed silage-based diets. *Animal* 5: 691-702.
- Ingvartsen, K. L. 2006. Feeding- and management-related diseases in the transition cow. Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feeding-related diseases. *Animal Feed Science and Technology* 126: 175-213.
- Ingvartsen, K. L. & Andersen, J. B. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science* 83: 1573-1597.
- Jenkins, T. C. & McGuire, M. A. 2006. Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *Journal of Dairy Science* 89: 1302-1310.
- Jouany, J.-P. 2006. Optimizing rumen functions in the close-up transition period and early lactation to drive dry matter intake and energy balance in cows. *Animal Reproduction Science* 96: 250-264.

- Kanjanapruthipong, J., Homwong, N. & Buatong, N. 2010. Effects of prepartum roughage neutral detergent fiber levels on periparturient dry matter intake, metabolism, and lactation in heat-stressed dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93: 2589-2597.
- Kauffold, P., Voigt, J. & Herrendorfer, G. 1977. The effect of nutritional factors on the ruminal mucosa. 3. Condition of the mucosa after infusion of propionic acid, acetic acid and butyric acid. *Archive für Tierernährung* 27: 201- 211.
- Keady, T. W. J. & McCoy, M. A. 2002. A review of the effects of nutrition of the dairy cow during the dry period on milk production and reproductive performance in the subsequent lactation. 74th Annual Report of the Agricultural Research Institute of Northern Ireland. s. 40-55.
- Keady, T. W. J., Mayne, C. S., Fitzpatrick, D. A. & McCoy, M. A. 2001. Effect of concentrate feed level in late gestation on subsequent milk yield, milk composition, and fertility of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84: 1468-1479.
- Keady, T. W. J., Mayne, C. S., Kilpatrick, D. J. & McCoy, M. A. 2005. Effect of level and source of nutrients in late gestation on subsequent milk yield and composition and fertility of dairy cows. *Livestock Production Science* 94: 237-248.
- Kleppe, B. B., Aiello, R. J., Grummer, R. R. & Armentano, L. E. 1988. Triglyceride accumulation and very low density lipoprotein secretion by rat and goat hepatocytes in vitro. *Journal of Dairy Science* 71: 1813-1822.
- Kokkonen, T., Tesfa, A., Tuori, M. & Syrjälä-Qvist, L. 2004. Concentrate feeding strategy of dairy cows during transition period. *Livestock Production Science* 86: 239-251.
- Kokkonen, T., Salin, S., Jaakkola, S., Taponen, J., Elo, K. & Vanhatalo, A. 2018. Effects of dietary energy allowance in grass silage-based diets during the dry period on production responses and utilization of body reserves in dairy cows. *Agricultural and Food Science* 27: 264-274.
- Kunz, P. L., Blum, J. W., Hart, I. C., Bickel, H. & Landis, J. 1985. Effect of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Animal Production* 40: 219-231.
- Larsen, M. & Kristensen, N. B. 2009. Effect of abomasal glucose infusion on splanchnic amino acid metabolism in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92: 3306-3318.
- LeBlanc, S. J., Leslie, K. E. & Duffield, T. F. 2005. Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 88: 159-170.

- Liebich, H. G., Mayer, E., Arbitman, R. & Dirksen, G. 1982. Strukturelle veränderungen der pansenschleimhaut hochproduzierender milchkühe von beginn der trockenperiode bis acht wochen post partum. Teoksessa: Proceedings of the 12th World Buiatrics Congress. s. 404-410.
- Lima, F. S., Oikonomou, G., Lima, S. F., Bicalho, M. L. S., Ganda, E. K., de Oliveira Filho, J. C., Lorenzo, G., Trojancanec, P. & Bicalhoa, R. C. 2015. Prepartum and postpartum rumen fluid microbiomes: characterization and correlation with production traits in dairy cows. *Applied and Environmental Microbiology* 81: 1327-1337.
- Little, M. W., O'Connell, N. E., Welsh, M. D., Mulligan, F. J. & Ferris, C. P. 2017. Concentrate supplementation of a diet based on medium-quality grass silage for 4 weeks prepartum: Effects on cow performance, health, metabolic status, and immune function. *Journal of Dairy Science* 100: 4457-4474.
- Luke 2018. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Luonnonvarakeskus. Viitattu 23.9.2018. Saatavissa: www.luke.fi/rehutaulukot.
- Mann, S., Leal Yepes, F. A., Overton, T. R., Wakshlag, J. J., Lock, A. L., Ryan, C. M. & Nydam, D. V. 2015. Dry period plane of energy: Effects on feed intake, energy balance, milk production, and composition in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98: 3366-3382.
- Marquardt, J. P., Horst, R. L. & Jorgensen, N. A. 1977. Effect of parity on dry matter intake at parturition in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 60: 929-934.
- Mashek, D. G. & Beede, D. K. 2000. Peripartum responses of dairy cows to partial substitution of corn silage with corn grain in diets fed during the late dry period. *Dairy Science* 83: 2310-2318.
- Mayer, E., Liebich, H. G., Arbitman, R., Hagemeister, H. & Dirksen, G. 1986. Nutritially-induced changes in the rumenal papillae and in their capacity to absorb short chain fatty acids in high producing dairy cows. Teoksessa: Hartigan, P. J. & Monaghan, M. L. (toim.). Proceedings of the 14th World Congress on Diseases of Cattle (World Congress on Diseases of Cattle, August 26-29 1986, Dublin, Ireland). Dublin, Ireland: Irish Cattle Veterinary Association. s. 806-817.
- McArt, J. A. A., Nydam, D. V., Ospina, P. A. & Oetzel, G. R. 2011. A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis. *Journal of Dairy Science* 94: 6011-6020.

- McArt, J. A. A., Nydam, D. V. & Oetzel, G. R. 2012. Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 95: 5056-5066.
- McCarthy, M. M., Mann, S., Nydam, D. V., Overton, T. R. & McArt, J. A. A. 2015. Short communication: Concentrations of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in dairy cows are not well correlated during the transition period. *Journal of Dairy Science* 98: 6284-6290.
- McNamara, J. P. 1991. Regulation of adipose tissue metabolism in support of lactation. *Journal of Dairy Science* 74: 706-719.
- McNamara, S., O'Mara, F. P., Rath, M. & Murphy, J. J. 2003. Effects of different transition diets on dry matter intake, milk production, and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 2397-2408.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80: 1463-1481.
- Minor, D. J., Trower, S. L., Strang, B. D., Shaver, R. D. & Grummer, R. R. 1998. Effects of nonfiber carbohydrate and niacin on periparturient metabolic status and lactation of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81: 189-200.
- Moe, P. W. & Tyrrell, H. F. 1972. Metabolizable energy requirements of pregnant dairy cows. *Journal of Dairy Science* 55: 480-483.
- Nielen, M., Aarts, M. G. A., Jonkers, A. G. M., Wensing, T. & Schukken, Y. H. 1994. Evaluation of two cow-side tests for the detection of subclinical ketosis in dairy cows. *Canadian Veterinary Journal* 35: 229-232.
- Oetzel, G. R. 2004. Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 20: 651-674.
- Olsson, G., Emanuelson, M. & Wiktorsson, H. 1997. Effects on milk production and health of dairy cows by feeding different ratios of concentrate/forage and additional fat before calving. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Science* 47: 91-105.
- Opsomer, G. 2015. Interaction between metabolic challenges and productivity in high yielding dairy cows. *The Japanese Journal of Veterinary Research* 63: S1-S14.
- Ospina, P. A., Nydam, D. V., Stokol, T. & Overton, T. R. 2010. Evaluation of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal of Dairy Science* 93: 546-554.

- Overton, T. R. & Waldron, M. R. 2004. Nutritional management of transition dairy cows: Strategies to optimize metabolic health. *Journal of Dairy Science* 87: E105-E119.
- Pitta, D. W., Kumar, S., Vecchiarelli, B., Shirley, D. J., Bittinger, K., Baker, L. D., Ferguson, J. D. & Thomsen, N. 2014. Temporal dynamics in the ruminal microbiome of dairy cows during the transition period. *Journal of Animal Science* 92: 4014-4022.
- Pullen, D. L., Palmquist, D. L. & Emery, R. S. 1989. Effect on days of lactation and methionine hydroxy analog on incorporation of plasma fatty acids into plasma triglycerides. *Journal of Dairy Science* 72: 49-58.
- Rabelo, E., Rezende, R. L., Bertics, S. J. & Grummer, R. R. 2003. Effects of transition diets varying in dietary energy density on lactation performance and ruminal parameters of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 916-925.
- Raboisson, D., Mounié, M., Khenifar, E. & Maigné, E. 2015. The economic impact of sub-clinical ketosis at the farm level: Tackling the challenge of over-estimation due to multiple interactions. *Preventive Veterinary Medicine* 122: 417-425.
- Reynolds, C. K., Aikman, P. C., Lupoli, B., Humphries, D. J. & Beever, D. E. 2003. Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early lactation. *Journal of Dairy Science* 86: 1201-1217.
- Roberts, T., Chapinal, N., LeBlanc, S. J., Kelton, D. F., Dubuc, J. & Duffield, T. F. 2012. Metabolic parameters in transition cows as indicators for early-lactation culling risk. *Journal of Dairy Science* 95: 3057-3063.
- Roche, J. R., Kay, J. K., Phyn, C. V. C., Meier, S., Lee, J. M. & Burke, C. R. 2010. Dietary structural to nonfiber carbohydrate concentration during the transition period in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93: 3671-3683.
- Salin, S., Vanhatalo, A., Jaakkola, S., Elo, K., Taponen, J., Boston, R. C. & Kokkonen, T. 2018. Effects of dry period energy intake on insulin resistance, metabolic adaptation, and production responses in transition dairy cows on grass silage-based diets. *Journal of Dairy Science* 101: 11364-11383.
- Shaver, R. D. 1997. Nutritional risk factors in the ethiology of left displaced abomasum in dairy cows: a review. *Journal of Dairy Science* 80: 2449-2453.
- Sjaunja, L. O., Baevre, L., Junkkarinen, L., Pedersen, J. & Setälä, J. 1991. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. Teoksessa: Gaillon, P. & Chabert, Y. (toim.). Performance recording of animals: State of the art. EAAP Publication 50. Wageningen, Netherlands: PUDOC. s. 156-157.

- Smith, K. L., Waldron, M. R., Drackley, J. K., Socha, M. T. & Overton, T. R. 2005. Performance of dairy cows as affected by prepartum dietary carbohydrate source and supplementation with chromium throughout the transition period. *Journal of Dairy Science* 88: 255-263.
- Smith, K. L., Waldron, M. R., Ruzzi, C., Drackley, J. K., Socha, M. T. & Overton, T. R. 2008. Metabolism of dairy cows as affected by prepartum dietary carbohydrate source and supplementation with chromium throughout the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 91: 2011-2020.
- Sordillo, L. M. & Raphael, W. 2013. Significance of metabolic stress, lipid mobilization, and inflammation on transition cow disorders. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 29: 267-278.
- St-Pierre, N. R. 2001. Invited review: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *Journal of Dairy Science* 84: 741-755.
- Suthar, V. S., Canelas-Raposo, J., Deniz, A. & Heuwieser, W. 2013. Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96: 2925-2938.
- Vandehaar, M. J., Yousif, G., Sharma, B. K., Herdt, T. H., Emery, R. S., Allen, M. S. & Liesman, J. S. 1999. Effect of energy and protein density of prepartum diets on fat and protein metabolism of dairy cattle in the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 82: 1282-1295.
- Vickers, L. A., Weary, D. M., Veira, D. M. & von Keyserlingk, M. A. G. 2013. Feeding a higher forage diet prepartum decreases incidences of subclinical ketosis in transition dairy cows. *Journal of Animal Science* 91: 886-894.
- Zhang, Q., Su, H., Wang, F., Cao, Z. & Li, S. 2015. Effects of energy density in close-up diets and postpartum supplementation of extruded full-fat soybean on lactation performance and metabolic and hormonal status of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98: 7115-7130.